

**SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS
EN VIAS CON BAJOS VOLUMENES DE TRANSITO**

**MINISTERIO DE TRANSPORTE
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS**

**JOSE ADOLFO VENCE BRITO
JOSE LUIS AHUMADA VILLAFANE**

**CORPORACION UNIVERSITARIA DE LA COSTA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BARRANQUILLA
2001**

**SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS
EN VIAS CON BAJOS VOLUMENES DE TRANSITO**

**MINISTERIO DE TRANSPORTE
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS**

**JOSE ADOLFO VENCE BRITO
JOSE LUIS AHUMADA VILLAFANE**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

Asesores

**Ing. DONALDO PACHECO
Ing. MIGUEL GARCIA SIERRA
Soc. OSMIN VARGAS**

**CORPORACION UNIVERSITARIA DE LA COSTA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BARRANQUILLA**

2001

SOLICITUD DE APROBACION DEL TRABAJO DE GRADO

Fecha: Enero 22 del 2001

Señor:

DIRECTOR PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

La ciudad

Por medio de la presente estamos sometiendo a su consideración la solicitud para la aprobación del trabajo de grado titulado:

SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN VIAS CON BAJOS VOLUMENES DE TRANSITO. (METODO DEL INV.)

Como requisito parcial para optar él titulo de INGENIERO CIVIL en la Facultad de Ingenierías de la Corporación Universitaria de la Costa, CUC.

Cordialmente.

JOSE VENCE BRITO

JOSE LUIS AHUMADA VILLAFANE

=====

ESPACIO RESERVADO PARA LA FACULTAD

Fecha de entrega de la solicitud para Aprobación: _____

¿Solicitud aprobada? SI ☐ ☐ Fecha _____

Observaciones: _____

Decano Facultad de Ingenierías. Director Programa Ingeniería civil.

APROBACION DEL PROYECTO POR PARTE DE ASESORES

Señor:

DIRECTOR PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

La ciudad

Los abajo firmantes asesores del trabajo de grado titulado:

SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN VIAS CON BAJOS VOLUMENES DE TRANSITO

Certificamos que el PROYECTO ha sido evaluado, lográndose los alcances establecidos en la propuesta.

Cordialmente.

ASESORES TECNICOS

ING. DONALDO PACHECO

ING. MIGUEL GARCIA SIERRA

ASESOR METODOLOGICO

SOC. OSMIN VARGAS

Dedicado a

A nuestros padres, por su lucha incesante en búsqueda de un futuro promisorio para nosotros y nuestros hermanos.

Jose Vence y Jose Ahumada.

Agradecimientos

A DIOS, por habernos concedido la dicha de culminar con éxito nuestras carreras.

RESUMEN

El mejoramiento y la adecuación de la red de carreteras del país se consideran pilares básicos del desarrollo nacional y forman parte de los planes para la preservación de los patrimonios viales de la nación y de los entes territoriales. Con el proyecto que se presenta a continuación se pretende aportar algo que, de alguna manera, contribuya con aquellas acciones tendientes a dar respaldo a este ideal. Para ello se presenta el manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con bajos volúmenes de tránsito, por medio de cual no solo se determina el dimensionamiento y propiedades de la estructura, sino que incluye algunas pautas sencillas para la construcción y el mantenimiento de estas. Como parte central del proyecto se propone sistematización del manual, basado netamente en el trabajo realizado por el Instituto Nacional de Vías como parte del paquete de proyectos destinados a dar cumplimiento a los principios que la ley le ha fijado. Este trabajo consiste en un software elaborado en el sistema para el desarrollo de base de datos ACCESS 97, que procesa la información básica de un proyecto de pavimentación y genera alternativas de solución, a la vez que proporciona, por medio de una evaluación de costos, las pautas para la escogencia de la alternativa de diseño

Palabras clave: Construcción de carreteras, Ingeniería de software, Pavimento de asfalto

ABSTRACT

The improvement and the adequacy of the network of highways of the country are considered to be basic props of the national development and are part of the plans for the preservation of the road patrimonies of the nation and of the territorial entities. With the project that appears next one tries to contribute something that, somehow, helps with those actions tending to give support to this ideal. For it there appears the manual of design of asphalt pavings in routes with low volumes of transit, by means of which not only there decides the dimensionamiento and properties of the structure, but it includes some simple rules for the construction and the maintenance of these. As central part of the project proposes to itself systematization of the manual, based clearly on the work realized by the National Institute of Routes as part of the bundle of projects destined to give fulfillment to the principles that the law has fixed him. This work consists of a software prepared in the system for the development of database ACCESS 97, which processes the basic information of a project of paving and generates solution alternatives, simultaneously that provides, by means of a costs evaluation, the rules for the escogencia of the alternative of design

Key words: Highways construction, Software engineering, Asphalt paving

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
2. EL TRANSITO	15
2.1. Los vehículos automotores	15
2.2. El efecto de las cargas sobre los pavimentos asfálticos	16
2.3. Período inicial de proyecto del pavimento.....	18
2.4. Categorías de tránsito.....	21
3. LA SUBRASANTE	26
3.1. Definición	26
3.2. Delimitación de unidades de diseño	26
3.3. Exploración de la subrasante.....	27
3.4. Clasificación de suelos.....	28
3.5. Definición del perfil y programación de los ensayos de resistencia ...	29
3.6. Contenido de humedad de la subrasante	31
3.7. Densidad de la subrasante	34
3.9. Clasificación de las subrasantes	35
4. UNIDADES DE OBRA	37
4.1. Subrasante mejorada.....	37
4.2. Capas granulares.....	38
4.2.1. Generalidades.....	38
4.2.2. Sub-base granular.....	39
4.2.3. Base granular	41
4.2.4. Construcción	43
4.3. Capas estabilizadas	44
4.3.1. Estabilización con cemento.....	47
4.3.2. Estabilización con cal.....	48
4.3.3. Estabilización con emulsión asfáltica	51
4.3.4. Ejecución de las estabilizaciones.....	54
4.3.5. Aplicaciones.....	56
4.4. Riegos.....	57
4.4.1. Riegos de Imprimación	57
4.4.2. Riegos de liga	58
4.4.4. Tratamientos superficiales dobles.....	59
4.4.5. Ejecución de los riegos	60
4.5. Lechadas asfálticas	61
4.5.1. Definición	61
4.5.2. Materiales	61
4.5.3. Diseño.....	63
4.5.4. Ejecución	63
4.6. Mezclas asfálticas.....	64

4.6.1. Mezclas abiertas en frío	65
4.6.2. Mezclas de arena-asfalto en caliente.....	68
4.6.3. Ejecución y colocación de las mezclas	69
4.6.4. Precauciones	71
5. CATALOGO DE ESTRUCTURAS	72
5.2 Tipos de estructuras consideradas en el manual.....	72
5.1.4. Cartas de diseño	73
Las cartas de diseño incluidas en el método para las diferentes alternativas estructurales se presentarán en los anexos.	73
5.2. Selección de la estructura.....	73
6. CONSERVACION.....	75
6.1. Importancia de la conservación	75
6.2. Definiciones.	75
6.2.1. Período inicial de proyecto.....	75
6.2.2. Período de análisis económico.	76
6.2.3. Conservación rutinaria (CR).....	76
6.2.4. Intervenciones de rehabilitación.....	76
6.2.6. Valor residual (VR).....	77
6.3. Estrategias de conservación sugeridas para los diferentes tipos de estructuras	78
7. ANALISIS DE COSTOS.....	79
7.1. Introducción	79
7.2. Cálculo del costo global actualizado de una alternativa estructural ...	79
8. MANUAL DEL USUARIO.....	81
8.1. Utilización del programa.....	81
8.1.1 Información básica del proyecto	83
8.1.3 Categoría de tránsito y Clasificación de la subrasante.	85
8.1.4. Alternativas de diseño.....	86
8.1.6 Costo anual de conservación rutinaria	88
8.1.7 Costos de rehabilitación.....	89
8.1.8 Costo global actualizado de alternativas.....	90
CONCLUSION	92
RECOMENDACIONES	93
A N E X O S	94
A. Estrategias de conservación.....	95
B. Convenciones.....	98
C. Cartas de diseño	101
D. Código fuente	112
BIBLIOGRAFIA.....	113

INTRODUCCIÓN

El mejoramiento y la adecuación de la red de carreteras del país se consideran pilares básicos del desarrollo nacional y forman parte de los planes para la preservación de los patrimonios viales de la nación y de los entes territoriales. Con el proyecto que se presenta a continuación se pretende aportar algo que, de alguna manera, contribuya con aquellas acciones tendientes a dar respaldo a este ideal.

Para ello se presenta el manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con bajos volúmenes de tránsito, por medio de cual no solo se determina el dimensionamiento y propiedades de la estructura, sino que incluye algunas pautas sencillas para la construcción y el mantenimiento de estas.

Como parte central del proyecto se propone sistematización del manual, basado netamente en el trabajo realizado por el **Instituto Nacional de Vías** como parte del paquete de proyectos destinados a dar cumplimiento a los principios que la ley le ha fijado. Este trabajo consiste en un software elaborado en el sistema para el desarrollo de base de datos **ACCESS 97**, que procesa la información básica de un proyecto de pavimentación y genera alternativas de solución, a la vez que proporciona, por medio de una evaluación de costos, las pautas para la escogencia de la alternativa de diseño.

Todo lo concerniente a la instalación y manejo del programa será desarrollado en el manual del usuario.

1. OBJETIVOS

GENERALES:

Sistematizar el Método del Instituto Nacional de Vías:

Diseño de pavimentos asfálticos en vías con bajo volúmenes de tránsito.

ESPECIFICOS:

- Crear un software que sirva como base de futuros proyectos de grado, que sirvan como complemento de la metodología de la cátedra de pavimentos.
- Determinar las alternativas de diseño en el estudio de un proyecto de carretera.
- Evaluar los costos de las alternativas de diseño y brindar las pautas para la escogencia de la mas adecuada.

2. EL TRANSITO

2.1. Los vehículos automotores

Un pavimento se construye con la finalidad de brindar unas condiciones de circulación cómodas, seguras y económicas al tránsito que lo habrá de utilizar. En consecuencia, su diseño implica la estimación del número y características de los vehículos que, de una manera razonablemente previsible, puedan movilizarse sobre él. Los aforos de tránsito que realiza el Instituto Nacional de Vías en las carreteras nacionales consideran tres tipos de vehículos: livianos, buses y camiones, discriminando estos últimos por el tamaño y su número de ejes. Por las carreteras secundarias y terciarias podrán circular también estos vehículos, por supuesto que en menor cantidad y con mayor limitación de los camiones más grandes, pero también debe contemplarse la posibilidad, que puede ser frecuente en algunas vías, de la circulación de vehículos del tipo tractor, con o sin remolque.

Desde el punto de vista del diseño del pavimento sólo tienen interés los vehículos pesados (buses, camiones, tractores con remolque), considerando como tales aquellos cuyo peso excede de 5 toneladas. Este tipo de vehículos coincide sensiblemente con los de 6 o más ruedas. El resto de los vehículos que puedan circular con un peso inferior (motocicletas, automóviles, camperos, camionetas, tractores sin carga) provocan un efecto mínimo sobre el pavimento, por lo que no se tienen en cuenta en su cálculo.

La figura 1 muestra la clasificación de los vehículos a efecto del dimensionamiento del pavimento. La inclusión en el dibujo de un camión de 3 ejes es solamente referencial. Los aforos realizados en carreteras nacionales

con tránsito diario inferior a 100 vehículos, indican que prácticamente la totalidad de los camiones que circulan por ellos son de 2 ejes, mientras que en vías cuyo tránsito oscila entre 100 y 150 vehículos por día, sólo un 5 % de los camiones circulantes tienen más de 2 ejes.

















2.2. El efecto de las cargas sobre los pavimentos asfálticos

Las cargas móviles del tránsito producen en el pavimento y en el suelo de apoyo deformaciones elásticas y plásticas cuyas magnitudes dependen tanto del peso como de la frecuencia de su aplicación. Mientras que un vehículo liviano transmite al pavimento una carga por eje del orden de 700 kg., el eje simple de un vehículo pesado en el límite de la reglamentación vigente alcanza 11.000 kg., es decir, casi 16 veces más. Pero, de acuerdo con las conclusiones del ensayo AASHTO, su efecto destructivo sobre la estructura es 60.000 veces mayor. Ello permite percibir la muy escasa influencia de los vehículos livianos en el comportamiento estructural de los pavimentos.

Pero, por otra parte, el crecimiento exponencial del efecto destructivo de las cargas (el exponente es cuando menos 4) da una idea de las consecuencias que pueden tener las sobrecargas en los pavimentos. Un exceso de carga de un eje simple de 11 toneladas de sólo 20 % supone duplicar su efecto destructivo, mientras que, si la sobrecarga llega al 50 %, el efecto destructivo se multiplica por 5.

El deterioro de los pavimentos no ocurre, sin embargo, bajo la aplicación de una sola carga. Es la aplicación repetida de ellas la que va acumulando efectos hasta producir la falla de la estructura. Los materiales de comportamiento elástico, tal el caso de las mezclas asfálticas que trabajan a

baja temperatura, suelen fallar por fatiga elástica que se manifiesta superficialmente en forma de grietas conocidas como “piel de cocodrilo”, mientras que los materiales granulares y la sub-rasante suele acumular en el tiempo deformaciones permanentes que se traducen en ahuecamientos. En ambos casos, el resultado práctico es el mismo: la incapacidad de la estructura para cumplir en el futuro la misión para la cual fue construida y la necesidad de su refuerzo, cuando no de su rehabilitación o reconstrucción en

VEHICULOS DE MENOS DE SEIS RUEDAS (NO se tiene en cuenta para el diseño)	MOTOCICLETAS		
	AUTOMOVILES		
	CAMIONETAS Y CAMPEROS		
	CAMIONETAS Y CAMPEROS		
	TRACTORES SIN REMOLQUE		
VEHICULOS DE SEIS O MAS RUEDAS (se tiene en cuenta para el diseño)	TRACTORES CON REMOLQUE		
	BUSES		
	CAMIONES		

2.3. Período inicial de proyecto del pavimento

Se puede definir como tal, al lapso transcurrido desde que se entrega al servicio la estructura, hasta que los deterioros producidos por el tránsito y los agentes ambientales normales hacen que la vía pierda su funcionalidad. Conviene recordar que, a la luz del conocimiento actual, el diseño de un pavimento constituye un complejo problema físico-estructural donde se interrelacionan variables tan diversas como los suelos de soporte, los materiales de construcción, las cargas del tránsito, la geometría de las calzadas, las variables ambientales, la calidad de la construcción y del mantenimiento, etc.

En consecuencia, de la tradicional definición de una sección estructural inicial para un “periodo de diseño” fijo, establecido de manera más o menos arbitraria, se ha pasado a la concepción de estrategias a mediano plazo, es decir, diseños optimizados que incluyen y analizan no sólo la construcción inicial, sino también la mejor combinación de materiales, políticas de construcción y mantenimiento rutinario, ciclos de refuerzo y rehabilitación y costos inherentes a los usuarios. El manejo de estas funciones involucra la operación de numerosas variables que en la práctica se ven acotadas por las limitaciones impuestas por los proyectistas y, principalmente, por los fondos disponibles, aspecto este último de particular importancia en las carreteras objeto del presente manual. El diseñador se encuentra, entonces, ante la posibilidad de seleccionar diseños iniciales muy débiles que reclaman varios ciclos de refuerzo, y pavimentos robustos que prácticamente no requieren ningún refuerzo durante un periodo prolongado (figura 2). Así, el que pudiera denominarse “diseño integral” de un pavimento, suele implicar la consideración de varios ciclos en los que el sistema es repetidamente

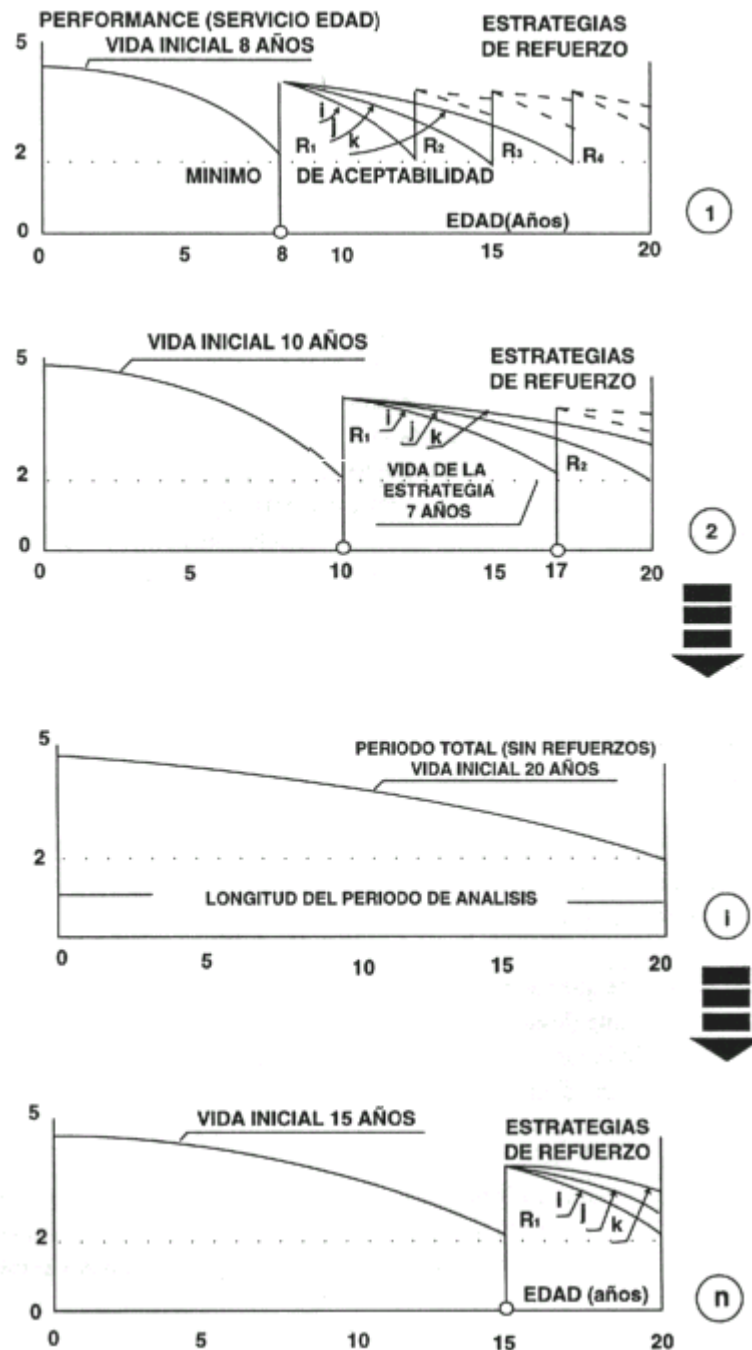
analizado. El primero de estos ciclos es el que se define en el presente manual como periodo inicial de proyecto, correspondiendo los siguientes a ciclos de refuerzo o rehabilitación; en el primero se establece la sección típica y los materiales para la estructura inicial, para un comportamiento anticipado y una vida limitada por las restricciones que impone el proyectista.

Cualquiera sea la alternativa adoptada, el periodo inicial de proyecto sólo se podrá cumplir manteniendo un nivel aceptable de transitabilidad, si durante él se han realizado operaciones rutinarias de mantenimiento y, por lo tanto, ha de entenderse que ellas están implícitas en el diseño de la estructura.

Dado el bajo nivel de tránsito de las vías que caen dentro del ámbito de este manual y considerando las limitaciones de tipo operativo con que probablemente desarrollen su misión las entidades encargadas de su construcción y su mantenimiento, no parece aconsejable incorporar un alto grado de complejidad en el diseño, motivo por el cual el catálogo incluido en el Capítulo 5 ha considerado un periodo inicial de 10 años para todas las estructuras incluidas en él.

El ingeniero encargado del mantenimiento, el planificador y el administrador deberán analizar, con el transcurso del tiempo y a la luz de la evolución del tránsito y del comportamiento del pavimento, así como del desarrollo tecnológico, diferentes estrategias de refuerzo para prolongar la vida útil de las calzadas y preservar el patrimonio vial bajo su custodia.

Figura 2. CURVAS DE COMPORTAMIENTO PARADIFERENTES ESTRUCTURAS INICIALES Y DIVERSAS ALTERNATIVAS DE ESTRATEGIAS DE REFUERZO



2.4. Categorías de tránsito

Los métodos usuales para el diseño de pavimentos asfálticos para vías de tránsito medio y alto, consideran esta variable en términos de repeticiones de ejes patrones de diseño, generalmente ejes sencillos de 80 kN, cuya valoración con cierto grado de

Confiabilidad exige un conocimiento mas o menos preciso de la magnitud de las cargas pesadas circulantes, a efectos de establecer su respectiva equivalencia con el eje patrón de diseño. Dicho conocimiento implica un relevamiento in situ de las cargas que, sin duda, resulta de difícil si no de imposible implementación en vías de muy bajo tránsito, cuyo estudio exige una valoración del tránsito pesado de más sencilla consideración.

A tal efecto, en el presente manual se clasifica el tránsito de diseño en 3 niveles, en función del tránsito promedio diario de vehículos pesados previsto durante el año inicial de servicio del pavimento (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. CLASES DE TRANSITO DE DISEÑO

Clase de tránsito	Número diario de vehículos pesados en el año inicial de servicio en el carril de diseño
T 1	1 - 10
T 2	11 - 25
T 3	26 - 50

El empleo de esta tabla merece una consideración previa. La mayoría de los métodos de dimensionamiento de pavimentos asfálticos sólo tienen en cuenta el tránsito que circula por un carril, llamado carril de diseño, y el presente método no es la excepción. Sin embargo, es preciso considerar las peculiaridades de las vías para las cuales se va a utilizar. Por ello, si la

calzada va a tener menos de 5 metros de ancho, se deberá considerar en el cálculo todo el tránsito esperado en los dos sentidos, pues salvo en el momento en que se crucen, los vehículos circularán centrados y tenderán a producir una sola zona de canalización. Si la calzada va a tener 6 metros o más, se considerará como tránsito de diseño la mitad del total, y si el ancho es igual o mayor de 5 metros y menor de 6 metros, se tomará el 75 % del total (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. TRANSITO POR ADOPTAR PARA EL DISEÑO SEGUN EL ANCHO DE LA CALZADA

Ancho de la calzada	Tránsito de diseño
Menor de 5 m	Total en los dos sentidos
Igual o mayor de 5 m y menor de 6 m	$\frac{3}{4}$ del total en los dos sentidos
Igual o mayor de 6 m	$\frac{1}{2}$ del total en los dos sentidos

Por otra parte, debe admitirse que el límite de tránsito para aplicar el manual es 50 vehículos pesados por día en el año inicial de servicio y, por lo tanto, si en la vía en estudio se prevé un tránsito mayor, será necesario el empleo de un método de diseño convencional.

En la eventualidad de que resultara imposible aplicar siquiera los métodos recién descritos, se puede estimar la clase de tránsito entrando directamente

Tabla 2.3. DETERMINACION DE LA CLASE DE TRANSITO EN FUNCION DEL TIPO DE VIA

Clase de tránsito	Tipo de vía
T 1	Vía que sirve núcleos de no más de 500 habitantes
T 2	Vía que sirve núcleos hasta de 2.000 habitantes
T 3	Vía que sirve núcleos hasta de 10.000 habitantes

a la Tabla 2.3.

Aunque en vías de baja intensidad de tránsito pesado no suele tener importancia, el diseñador no deberá ignorar el hecho de que la carretera puede atraer y generar tránsito por el beneficio de la pavimentación. Si entre dos puntos existen caminos alternativos y en uno de ellos se mejoran las condiciones de circulación, los vehículos tenderán a circular más por él ; así mismo, al mejorar las condiciones de transitabilidad por una determinada zona, hay mayores posibilidades para su desarrollo (urbanismo, creación de industrias, etc.), las cuales implicarán generación de tránsito. En tales eventualidades, el ingeniero deberá efectuar las adiciones que considere pertinentes al tránsito tradicional e históricamente previsible de vehículos pesados.

No suelen existir estadísticas sobre distribución del tránsito en carreteras de bajo volumen de tránsito, pero el diseño de su pavimento tampoco exige un alto grado de fineza en este sentido. Basta con considerar adecuadamente sus variaciones semanales y de temporada. Los días de mercado representan una proporción importante del tránsito pesado semanal y su efecto se puede compensar mediante dos conteos, uno en un día corriente y otro durante el día de mercado. Como estas carreteras prácticamente no tienen tránsito nocturno, conteos de 16 horas (de 6 a.m. a 10 p.m.) resultan normalmente adecuados y precisos. La temporada agrícola también tiene gran incidencia. Durante y después de las cosechas se presenta un considerable aumento en el tránsito de vehículos pesados, el cual deberá tener en cuenta el diseñador.

A través de un ejemplo, tomado de la referencia 1, se describe un procedimiento sencillo para la determinación del volumen vehicular en una

vía de bajo tránsito. El ejemplo supone una vía en vecindades de un poblado donde hay un día de mercado a la semana y donde la temporada de bajo nivel agrícola dura 8 meses y la de cosecha 4.

Dos conteos de 16 horas al final de la temporada seca (baja actividad agrícola) indican:

en día de mercado = 73 vehículos pesados

en día corriente = 21 vehículos pesados

Dos conteos en plena temporada de cosecha indican:

en día de mercado = 98 vehículos pesados

en día corriente = 48 vehículos pesados

De acuerdo con estos datos, el tránsito medio diario para cada temporada se determina así:

TPD vehículos pesados en temporada seca = 28 vehículos pesados

TPD vehículos pesados en temporada de cosecha = 55 vehículos comerciales

El TPD anual se tomará como el promedio ponderado de los movimientos de las dos temporadas, así:

TPD anual = 37 vehículos pesados

Como para efectos del diseño el tránsito requerido es del año inicial de

servicio, el valor obtenido en los cálculos deberá proyectarse hasta dicho año. Para ello se podrá tomar una tasa de proyección representativa de las vías de la región, pero en ausencia de ella se podrá adoptar un valor entre 2 y 3 % anual.

3. LA SUBRASANTE

3.1. Definición

La subrasante es la superficie sobre la cual se apoya el pavimento, aunque desde el punto de vista estructural se la considera como la capa superior (de espesor usual entre 15 y 30 centímetros) de la corona de un terraplén o del fondo de las excavaciones. Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción, constituyen las variables básicas para el diseño del pavimento.

Es altamente improbable que al construir una vía rural para soportar bajo tránsito se contemple desde el primer momento su pavimentación. Por lo tanto, la situación corriente que enfrentarán los entes territoriales será la de brindar el beneficio del pavimento a las rutas ya existentes que se muestren más prometedoras para sus regiones. Como resultado de ello, la definición de las unidades homogéneas de diseño y la exploración detallada de la subrasante se adelantarán sobre una calzada existente.

3.2. Delimitación de unidades de diseño

Una unidad de diseño es un tramo de carretera cuyas características se puedan considerar uniformes para efectos del diseño de un pavimento. Dicha uniformidad la establece el ingeniero sobre la base de la geología, la pedología, las condiciones ambientales especialmente en lo referente al drenaje y las variaciones de tránsito a lo largo de la vía. Su definición suele ser anterior al programa de muestreo, aunque en muchos casos en que no se dispone de información previa, la delimitación se realiza simultáneamente

con el muestreo. Este proceso, aparentemente sencillo, requiere un gran criterio del ingeniero dada la variabilidad que presentan tanto los suelos como los resultados de los ensayos para su identificación. En todos los casos, la disponibilidad de información sobre estudios anteriores en la región es muy apreciada.

3.3. Exploración de la subrasante

La definición de los suelos que controlarán el diseño del pavimento se logra mediante la determinación de la extensión vertical y longitudinal de los diferentes suelos que servirán de soporte al pavimento. El procedimiento usual consiste en la ejecución de perforaciones a intervalos y con profundidades que deberán ser definidas en cada caso por el ingeniero a la luz de su experiencia, las características de la vía donde adelanta el estudio y los recursos técnicos y económicos disponibles.

Establecida la estrategia para efectuar el programa exploratorio, el ingeniero ordenará la toma de las muestras necesarias en cada perforación, de manera de poder evaluar aquellas características que siendo determinantes en su comportamiento, resulten de sencilla e indiscutible determinación. Las dos propiedades fundamentales a considerar en esta etapa inicial del estudio son la granulometría y la plasticidad, a partir de las cuales se pueden estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar.

Otra característica importante de los suelos desde el punto de vista de su empleo en la construcción de pavimentos es su humedad natural. En relación con el agua, dos propiedades importantes de los suelos son su potencial de

expansión y su drenabilidad. En la práctica, y en la mayoría de los casos, se trata de características contrapuestas, pero ambas dependen de la granulometría y la plasticidad, si bien es cierto que dentro de los suelos plásticos lo que más influye en su expansividad es la naturaleza mineralógica de las fracciones más finas.

3.4. Clasificación de suelos

Los sistemas de clasificación fueron desarrollados para encuadrar los suelos dentro de una determinada tipología, con sólo conocer su granulometría y su plasticidad. Debe dejarse claro que la simple clasificación no permite predecir con exactitud el comportamiento verdadero de los suelos, pero sí ofrece una estimación general de ellos y sirve como ayuda para agruparlos con el fin de conformar las unidades de diseño.

Los dos sistemas de clasificación más difundidos son el unificado, desarrollado originalmente por Casagrande y el conocido como AASHTO, derivado del antiguo sistema HRB. En Colombia, el primero goza de mayor aceptación entre los diseñadores de pavimentos; sin embargo, el segundo, tanto por haber sido concebido específicamente para estudios de carreteras, como por el hecho de agrupar mejor los suelos de similar comportamiento, resulta más adecuado y es, por tanto, el que se recomienda para aplicación en el presente manual. El sistema se resume en la Tabla 3.1.

Hay que tener presente que la escasez de tiempo para la ejecución de estos estudios impide efectuar ensayos sobre cada muestra de suelo encontrada en el programa de muestreo. Por ello, se hace preciso clasificar visualmente una gran cantidad de muestras. Un operador calificado puede, luego de haberse familiarizado con el sistema, asignar símbolos de clasificación a los

suelos juzgando su apariencia y textura. De esta manera, el número requerido de ensayos con propósitos de clasificación se reduce a un mínimo. Debe tenerse presente, además, que las muestras para ensayos de rutina se deben tomar de acuerdo con el desarrollo del perfil a lo largo de la vía y la secuencia con que se presenten las diferentes capas de suelo. La selección de muestras al azar con este propósito debe descartarse.

3.5. Definición del perfil y programación de los ensayos de resistencia

Completada la exploración y clasificados los suelos por un sistema convencional con el apoyo de la clasificación visual, se deberá elaborar un perfil para cada unidad, con base en el cual se determinan los suelos que controlarán el diseño y se establecerá el programa de ensayos para establecer su resistencia.

Si en un determinado tramo se presenta una gran heterogeneidad en los suelos de sub-rasante que no permita definir uno como predominante, el diseño se basará en el más débil que se encuentre.

Dada la variabilidad que presentan los suelos (aún dentro de un mismo grupo), así como los resultados de los ensayos de resistencia, el Instituto del Asfalto (ref. 16) recomienda la ejecución de 6 a 8 ensayos por suelo, con el fin de aplicar un criterio estadístico para la selección de un valor único de resistencia del suelo. Teniendo en cuenta los volúmenes de tránsito de las carreteras de que trata este manual, la variabilidad de las condiciones y los resultados de los ensayos, así como algunos conceptos de tipo económico (ref. 6), parece recomendable la elección de un valor de diseño tal, que el 75 % de los valores de resistencia sean inferiores a él, lo que implica que es de

esperar un deterioro prematuro hasta en el 25 % del pavimento que se construya. Este deterioro de algunos tramos de la vía es un problema inevitable y constituye un factor de riesgo en el diseño. Un ejemplo que se presenta más adelante,

permitirá hacer claridad sobre lo que se acaba de exponer.

Tabla 3.1. CLASIFICACION DE SUELOS Y DE MEZCLAS DE SUELOS Y AGREGADOS DE LA AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAYS AND TRANSPORTATION OFFICIALS(AASHTO).

Clasificación General	Materiales Granulares (35%, o menos, pasa el tamiz No 200)							Materiales limocilicilosos (Mas del 35% pasa el tamiz No 200)			
Grupos	A-1	A-1-b	A-2					A-4	A-5	A-6	A-7
Grupos	A-1-a		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Ejemplo que pasa el tamiz : (75 mm) (425 mm) (0.075 mm)	50 max 30 max 15 max	- 50 min 25 max	- 51 min 10 max	- - 35 max	- - 35 max	- - 35 max	- - 35 max	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	
Características que pasan el tamiz No 40 (mm): Líquido Plástico			- NP	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 max	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min
Definición	Excelente a bueno		Excelente a bueno	Excelente a bueno				Regular a malo			
Si el índice de plasticidad del sub-grupo A-7-5, es igual o menor a LI-30 Si el índice de plasticidad del sub-grupo A-7-6, es mayor que el LI-30											

El sistema incluye el cálculo de un parámetro adicional, denominado índice de grupo, el cual es función de la proporción de finos y su plasticidad. Su cálculo permite establecer aún mejor las características del suelo, dado que entre mayor sea su valor, mayor será su actividad potencial. La expresión para determinarlo es la siguiente:

$$I.G. = (F - 35) 0.2 + 0.005 (LL - 40) + 0.01 (F - 15) (IP - 10)$$

Donde:

F = Porcentaje que pasa el tamiz N° 200, expresado en números enteros. Este porcentaje está basado solamente en el material que pasa el tamiz de 3".

LL = Límite líquido del suelo.

IP = Índice de plasticidad del suelo.

3.6. Contenido de humedad de la subrasante

La resistencia de los suelos de subrasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que ellos presenten. Para propósitos del dimensionamiento del pavimento, se recomienda determinar la resistencia de la subrasante bajo la condición más húmeda que sea de esperar una vez el pavimento haya sido puesto en servicio. Al efecto, la referencia 2 establece las tres categorías que se muestran en la figura 3 y que se describen a continuación.

Categoría 1: Comprende aquellas situaciones donde el nivel freático se encuentra lo suficientemente cerca de la superficie como para controlar la humedad de la subrasante. Se considera que en este caso se encuentran los

suelos no plásticos si el nivel de las aguas internas se puede elevar hasta encontrarse a menos de un metro bajo la superficie del terreno, arcillas arenosas ($IP < 20$) cuando el nivel freático se halla en los 3 metros superiores y arcillas plásticas ($IP > 40$) si se encuentra dentro de los primeros 7 metros bajo la superficie del terreno.

Categoría 2: Incluye subrasantes con tablas de agua a profundidades superiores a las indicadas en el caso anterior, pero donde la lluvia es suficiente para producir cambios significativos en la humedad bajo los pavimentos. Estas condiciones ocurren cuando la lluvia excede la evapotranspiración cuando menos 2 meses por año. Ello suele suceder en áreas donde las precipitaciones son estacionales y superan los 250 milímetros por año.

Categoría 3: Abarca subrasantes con niveles de agua profundos y donde el clima es seco la mayor parte del año y la precipitación anual no excede de 250 milímetros.

La condición de humedad con la cual se recomienda determinar la resistencia de las subrasantes para cada una de estas categorías, es la siguiente:

Categoría 1: Midiendo la humedad de la subrasante bajo pavimentos existentes en similares situaciones y en una época del año en que las aguas subterráneas se encuentren en su más alto nivel. Estos pavimentos deberán tener un ancho no menor de 3 metros y más de 2 años de contruidos. Las muestras para determinar la humedad se deberán tomar bajo la calzada y cuando menos a 50 centímetros del borde de ella.

Determinada la humedad bajo el pavimento existente, se calculará la esperada bajo la nueva subrasante a partir del hecho de que la relación humedad / límite plástico es constante para diferentes suelos cuando el nivel freático y las condiciones climáticas son similares.

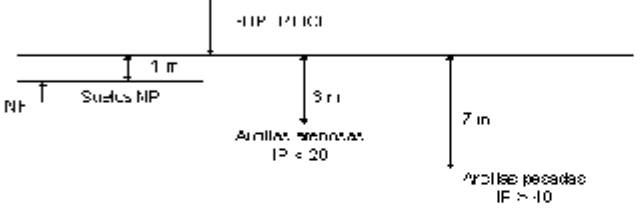
Si no existen carreteras pavimentadas en las cercanías, el contenido de humedad bajo la futura subrasante deberá estimarse a partir de la profundidad de la tabla de agua y de la relación entre succión y humedad del suelo de subrasante.

Categoría 2: Para los suelos ubicados en esta categoría, se puede tomar como humedad de diseño la óptima del ensayo normal de compactación o Proctor estándar (Norma de Ensayo INV E - 141).

Categoría 3: En este caso, la humedad de la subrasante para propósitos de diseño se puede tomar como el 80 % de la óptima del ensayo normal de compactación.

Las anteriores recomendaciones parten de la premisa de que el pavimento será prácticamente impermeable y que la subrasante no verá incrementada

Figura 3. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE ACUERDO CON LA HUMEDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE SU RESISTENCIA

<p>(1) NIVEL FREÁTICO MUY CERCANO A LA SUPERFICIE, EL CUAL CONTROLA LA HUMEDAD DE LA SUBRASANTE</p>  <p>1 m</p> <p>NF</p> <p>Sras</p> <p>3 m</p> <p>7 m</p> <p>Succión $S < 20$</p> <p>Relación $R > 10$</p>	<p>HUMEDAD PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA</p> <p>A partir de la relación</p> $\frac{w_p}{L_P}$ <p>Mediante relación entre succión y humedad, conociendo NF</p>
<p>(2) NIVEL FREÁTICO PROFUNDO DONDE LA LLUVIA ES SUFICIENTE PARA PRODUCIR CAMBIOS SIGNIFICATIVOS DE HUMEDAD EN LA SUBRASANTE (Precipitación > 250 mm/año)</p>	<p>Óptima del Proctor estándar.</p>
<p>(3) NIVEL FREÁTICO PROFUNDO DONDE EL CLIMA ES SECO Y LA LLUVIA ES ESCASA (Precipitación < 250 mm/año)</p>	<p>0.8 óptima del Proctor estándar.</p>

NOTA: Si no se garantiza una adecuada protección del pavimento (impermeabilidad), la resistencia se hallará en condición saturada en los casos (1) y (2) y con la humedad óptima de Proctor estándar en el (3).

su humedad por infiltración proveniente de la parte superior. En caso de que el proyectista juzgue que sea imposible evitar la entrada de agua de dicha procedencia, conviene determinar la resistencia de los suelos en condición saturada cuando correspondan a las categorías 1 y 2, y con una humedad igual a la óptima del ensayo normal de compactación cuando correspondan a la categoría 3.

3.7. Densidad de la subrasante

La densidad que alcanza un suelo de subrasante bajo una superficie impermeable (densidad de equilibrio), es función, fundamentalmente, del tipo de suelo y del entorno ambiental en el cual actúa.

Existen diferentes procedimientos para determinar a priori dicha densidad, pero, salvo circunstancias especiales, resulta suficiente considerar una densidad equivalente al 95 % de la máxima del ensayo modificado de compactación (Norm de Ensayillo NVE142)

3.8. Capacidad de soporte

En Colombia, es práctica habitual el empleo del ensayo CBR de laboratorio para determinar la resistencia de los suelos con fines de diseño de pavimentos. Las muestras deberán ser preparadas en las condiciones de humedad y densidad antes descritas.

En áreas donde existan pavimentos contruidos sobre la misma subrasante, es lícito efectuar medidas directas de su resistencia mediante el ensayo CBR

de campo (Norma de Ensayo INV E-169) o empleando el penetrómetro dinámico de cono, cuyos resultados pueden extrapolarse a la vía en estudio. De acuerdo con pruebas realizadas hace algunos años por el MOPT (ref. 13), el CBR se puede obtener en este último caso a través de la expresión:

$$\text{CBR} = 567 (\text{ND})^{-1.40}$$

Siendo ND el número dinámico o pendiente de la recta de penetración del dispositivo dentro del suelo (mm / golpe).

Salvo si se realizan directamente bajo pavimentos existentes, las pruebas de CBR de campo y de penetrómetro no son muy recomendables, por la dificultad que existe para asegurar que las condiciones de humedad y densidad dominantes durante el ensayo corresponden a las que prevalecerán bajo el pavimento construido.

3.9. Clasificación de las subrasantes

El catálogo estructural incluido en el presente manual requiere que la subrasante sea clasificada en alguna categoría que refleje la gran sensibilidad del diseño a la resistencia del suelo. Dichas categorías se definen en la Tabla 3.2, aclarando que aquellos suelos cuyo CBR sea inferior a 2 requieren un tratamiento especial de adecuación, el cual no forma parte del contenido del presente manual.

Tabla 3.2. CLASIFICACION DE LOS SUELOS DE SUBRASANTE

Clasificación de la subrasante	CBR en %
S 1	2
S 2	3 - 5
S 3	6 - 10
S 4	11 - 20
S 5	> 20

En la eventualidad, no deseable por cierto, de no disponer de información sobre la resistencia de la subrasante, la categoría se puede establecer de manera aproximada a partir del conocimiento del tipo de suelo y la posición del nivel freático en la época en que éste se encuentre más cerca de la superficie, tal como lo muestra la Tabla 3.3, la cual no es aplicable a suelos predominantemente limosos o micáceos, ni a arcillas orgánicas o tropicales intemperizadas.

Tabla 3.3. CLASIFICACION DE SUBRASANTES BAJO SUPERFICIES IMPERMEABLES EN PRESENCIA DE LA TABLA DE AGUA

Profundidad del nivel freático (m)	Clasificación de la subrasante				
	arena NP	arcilla arenosa		arcilla limosa	arcilla pesada
		IP=10	IP=20	IP=30	IP=40
0.5	S3	S3	S2	S2	S1
1.0	S4	S3	S3	S2	S1
2.0	S4	S4	S3	S3	S2
3.0 c.m.ás	S5	S4	S3	S3	S2

4. UNIDADES DE OBRA

En este capítulo se hace referencia a las unidades de obra que constituyen las capas de las diferentes secciones estructurales que conforman el catálogo de diseño incluido en el manual. La finalidad no es presentar un análisis profundo de cada una de ellas. La intención es hacer una breve descripción de sus componentes y sus características, establecer criterios generales para su diseño, así como pautas para su ejecución e indicar sus principales campos de aplicación.

Se debe tener presente que el buen comportamiento de un pavimento depende tanto de su buen mantenimiento y de la provisión de las estructuras de drenaje y contención necesarias, como de los espesores de las capas que lo conforman y la calidad de sus materiales y de su proceso constructivo. Por lo tanto, si bien los pavimentos objeto de este manual van a soportar inicialmente bajos volúmenes de tránsito, ello no implica que su diseño y construcción no se deban realizar con los mismos niveles de exigencia de una vía de la mayor importancia.

4.1. Subrasante mejorada

La construcción de una subrasante mejorada es necesaria para proteger pavimentos contruidos sobre subrasantes muy débiles. Su función es reemplazar parte de la sub base para reducir el costo de la estructura. Su colocación se requiere sobre suelos de las clases S 1 y S 2 y también sobre los S 3, si sobre ellos se pretende construir una subbase estabilizada con un ligante hidráulico.

Los requisitos de calidad de una subrasante mejorada son menos estrictos que los de una subbase convencional. Su CBR, en las mismas condiciones de humedad y densidad establecidas para las subrasantes, deberá ser cuando menos de 15. No existen recomendaciones específicas sobre su granulometría y plasticidad, aunque es deseable que el tamaño máximo no exceda de 75 milímetros, que el índice plástico no sea mayor de 10 y que su cambio volumétrico sea despreciable al pasar del estado seco al húmedo.

La estabilización con cal del material existente es también una alternativa factible para uso como subrasante mejorada, siempre que dicho material sea excesivamente húmedo o débil, que su remoción no resulte económica y que el material importado sea muy costoso. La cantidad de cal por incorporar será la necesaria para que el material estabilizado alcance la resistencia indicada en el párrafo anterior.

Es posible que el afirmado existente pueda constituir parte o la totalidad de una subrasante mejorada o, incluso, de una subbase granular, de acuerdo con sus características y espesor.

4.2. Capas granulares

4.2.1. Generalidades

Son aquellas capas del pavimento que están compuestas sólo por agregados pétreos y finos naturales. Su resistencia a las deformaciones está determinada casi exclusivamente por el rozamiento interno de los agregados, aunque a veces existe una componente cohesional brindada por los finos plásticos que contenga el material.

De acuerdo con lo anterior, es conveniente que una parte de la fracción gruesa del material esté compuesta por partículas fracturadas mecánicamente o con caras rugosas e irregulares y que la capa construida tenga la mayor compacidad correspondiente a la granulometría empleada, para garantizar la efectividad del rozamiento interno y prevenir deformaciones permanentes a causa del tránsito, que acabarían reflejándose como irregularidades en la superficie de la carretera. Esto es particularmente importante en las capas superiores, las cuales están sometidas a esfuerzos mayores a causa de la cercanía de las cargas del tránsito.

En los pavimentos convencionales se suelen distinguir dos clases de capas granulares de acuerdo con su posición y la función que cumplen en la estructura del pavimento: base y subbase.

4.2.2. Sub-base granular

La capa de subbase contribuye a la reducción de esfuerzos provocados por el tránsito, de modo que ellos lleguen en magnitud aceptable a la subrasante, actúa como plataforma de construcción para las capas superiores, sirve como capa de transición entre la subrasante y la base y, bajo ciertas circunstancias, puede actuar como capa drenante. Las exigencias en cuanto a su calidad son mayores en climas húmedos que en climas secos por las mayores posibilidades de su saturación. La Tabla 4.1 muestra los requisitos que el Transport Research Laboratory (ref. 2) considera aceptables para materiales de subbase granular, según las condiciones ambientales de la zona del proyecto.

Tabla 4.1. CARACTERISTICAS DE PLASTICIDAD PARA SUBBASES GRANULARES

Clima	Límite líquido	Índice plástico	Contracción lineal
Tropical húmedo y lluvioso	< 45	< 6	< 3
Tropical con lluvias estacionales	< 45	< 12	< 6
Árido y semi árido	< 55	< 20	< 10

Es deseable, además, que el CBR no sea menor de 30 a una densidad equivalente al 95 % de la máxima del ensayo modificado de compactación (Norma de Ensayo INV E - 142). En relación con la humedad de preparación y ensayo de las muestras de laboratorio para la determinación de la resistencia, ellas dependerán de las condiciones climáticas y de las posibilidades de ingreso de agua hasta la subbase proveniente de la parte superior. Se supone que el pavimento dispondrá de los dispositivos de subdrenaje que requiera. La Tabla 4.2 resume las recomendaciones de la referencia 7, como resultado de investigaciones adelantadas en el Brasil, según las cuales la humedad debe depender de la pluviometría de la región del proyecto.

Tabla 4.2. RANGOS RECOMENDADOS DE HUMEDAD PARA LA EJECUCION DE ENSAYOS CBR SEGÚN LA PRECIPITACION ANUAL

Cap a	< 800 mm	800 - 1500 mm	> 1500mm
Subbase granular	OPM	(1.0-1.5)OPM	(1.0-1.5)OPM + inmersión 4 días
Base granular	OPM	(1.0-1.25)OPM	(1.0-1.25)OPM + inmersión 4 días

Nota : OPM = Optima del Proctor Modificado

En la construcción de vías de bajo tránsito, donde los recursos económicos suelen ser muy limitados, la experiencia local puede permitir el uso de algunos materiales locales no convencionales de comprobado buen comportamiento, tal el caso de las gravas lateríticas y algunos tipos de

calcáreos. A falta de tal experiencia, los materiales de subbase deben presentar las siguientes propiedades generales:

- Equivalente de arena > 25
- Desgaste Los Angeles < 50
- Granulometría :

Tamiz	% pasa
2"	100
1 ½"	80-100
¾"	60-100
½"	50-100
3/8"	45-90
4	35-80
10	23-65
40	12-45
200	5-25

4.2.3. Base granular

Dados los mayores niveles de exigencia a que estará sometida esta capa, sus materiales deberán ser de mejor calidad. Los materiales triturados de alta calidad son los más recomendables, aunque también se permite el empleo de materiales naturales cuya fracción gruesa tenga al menos 40 % de partículas con caras angulares o irregulares. El mejor comportamiento se obtiene cuando el material elaborado presenta índices de aplanamiento y alargamiento inferiores a 35, desgaste menor de 40, equivalente de arena

superior a 30, índice plástico inferior a 6, producto plástico (% pasa # 200 * Índice plástico) no superior a 60 y CBR no menor de 80 al 100% de compactación respecto del ensayo Proctor modificado, en las condiciones de humedad indicadas en la Tabla 4.2. En caso de encontrarse dificultades en el cumplimiento del criterio de plasticidad, es lícita la modificación de la fracción fina mediante el empleo de pequeñas cantidades de cemento o cal.

La granulometría del material, de la cual se muestran las franjas recomendadas por las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INV (Tabla 4.3), debe ser sensiblemente paralela a los límites de la franja escogida, para asegurar la máxima estabilidad mecánica, y deberá permitir el cumplimiento de valor del producto plástico indicado atrás. Además, es conveniente que el control de la granulometría se realice también luego de compactada la capa, por cuanto la estabilidad puede verse afectada por la rotura de partículas durante la compactación y el servicio.

Tabla 4.3. FRANJAS GRANULOMETRICAS PARA BASE GRANULAR

Tamiz	Porcentaje que pasa	
	BG - 1	BG - 2
1 ½"	100	-
1"	70 - 100	100
¾"	60 - 90	70 - 100
3/8"	45 - 75	50 - 80
4	30 - 60	35 - 65
10	20 - 45	20 - 45
40	10 - 30	10 - 30
200	5 - 15	5 -15

Como en el caso de las subbases granulares, es posible el uso de materiales marginales en la construcción de bases con algún grado de éxito. No es posible, sin embargo, dar guías generales sobre el uso de tales materiales,

por lo que su eventual empleo requerirá la consulta de bibliografía específica.

4.2.4. Construcción

La construcción de una capa granular de sub-base o base incluye las siguientes fases: extensión con motoniveladora, humedecimiento, compactación, protección de la superficie compactada y preparación para la extensión de la capa superior.

La compactación requiere que el material tenga la humedad adecuada para alcanzar la máxima densidad en función de la energía por aplicar. La máxima eficiencia se logra si el material es humedecido antes de su extensión. Si se requiere más agua, conviene añadirla tras las primeras pasadas de los compactadores, con el fin de evitar el arrastre de finos.

Los equipos de compactación deberán ser de rodillos vibratorios o de tipo mixto (un eje vibratorio y el otro de neumáticos), debiéndose evitar el uso de rodillos lisos no vibratorios muy pesados, porque ellos fracturan las partículas, alterando la granulometría y desmejorando las propiedades mecánicas del material.

Si la base granular va a ser cubierta por una capa de mezcla asfáltica, deberá recibir previamente un riego de imprimación. Además, en todos los casos, si va a transcurrir cierto tiempo entre la terminación de la base y la extensión de la capa superior, deberá protegerse aquella humedeciéndola ligera y frecuentemente y evitando el tránsito vehicular. Si esto último no es posible, deberá aplicarse un riego de emulsión asfáltica de rompimiento

rápido protegido con una capa de arena limpia esparcida manualmente.

4.3. Capas estabilizadas

La estabilización es un proceso mediante el cual se trata de modificar un suelo o un agregado procesado para hacerlo apto o mejorar su comportamiento como material constitutivo de un pavimento. El proceso busca, fundamentalmente, aumentar la capacidad portante del material y hacerlo menos sensible a la acción del agua. En ocasiones, el objetivo es también que el material alcance alta rigidez y, en consecuencia, tenga capacidad para absorber tensiones de tracción.

De acuerdo con el proceso que se aplique para modificar el suelo, la estabilización puede ser mecánica o con aditivos. La mecánica consiste, simplemente, en el mejoramiento del suelo mediante su mezcla con otro de mejores propiedades. La estabilización con aditivos, por su parte, comprende la incorporación y mezcla íntima de productos que generan modificaciones físicas y /o químicas al suelo, de modo de hacerlo apto para la construcción de alguna capa del pavimento. En ambos casos, lo que se intenta es aprovechar al máximo los materiales locales, con el fin de reducir los costos de construcción del pavimento.

La estabilización mecánica se emplea cuando los materiales de la subrasante son de baja calidad y es posible encontrar a escasa distancia otros de características muy superiores. Sin embargo, bajo condiciones de campo, la disgregación y mezcla de un suelo muy plástico con uno granular suele ser difícil y costosa, en particular en áreas con alta intensidad de lluvias. Dentro de la rutina de la ingeniería de pavimentos, la estabilización de suelos se suele interpretar como aquella que se hace con aditivos. Por

costumbre y menor costo, los más utilizados son la cal, el cemento y la emulsión asfáltica, aunque es también factible el empleo de escorias de alto horno, cenizas volantes, aceites sulfonados, enzimas orgánicas, cloruros, etc.

Sin considerar excluidas las demás soluciones, este manual sólo se referirá al empleo de los tres primeros productos, cuyos rangos generales de aplicabilidad se muestran en la figura 8. La Tabla 4.4 presenta, además, una comparación muy amplia de estas técnicas de mejoramiento. Tanto la figura como la tabla constituyen sólo guías globales, por lo que la definición del tipo y cantidad de estabilizante deben ser objeto de estudio detallado en cada proyecto; sin embargo, en términos generales se aprecia que la cal es prometedora en el mejoramiento de suelos finos plásticos, la emulsión en el de suelos granulares y el cemento presenta un rango más amplio de utilización.

Figura 8. APLICABILIDAD DE LOS METODOS DE ESTABILIZACION (Ingles y Metcalf, 1972)

La Tabla 4.5, elaborada con base en experiencias realizadas en Australia, precisa un poco más las posibilidades del cemento y la cal como estabilizantes para uso vial.

4.3.1. Estabilización con cemento

Los fenómenos químicos que ocurren entre el suelo y el cemento cuando ambos se mezclan con el contenido apropiado de agua consisten en reacciones del cemento con los componentes silíceos de los suelos, que producen conglomerantes que ligan a las gravas, arenas y limos; además, el hidrato de calcio que se forma como consecuencia del contacto del cemento con el agua libera iones de calcio muy ávidos de agua, que la toman de la existente en las láminas de arcilla. La reacción favorable del suelo con el cemento se ve perjudicada cuando el primero contiene materia orgánica, pues los ácidos orgánicos poseen gran avidez por los iones de calcio que libera la reacción original del cemento y los captan, dificultando la acción aglutinante del cemento en los suelos gruesos y la estabilización de las

Tabla 4.5. GUIA PARA SELECCION DE ESTABILIZANTES (NAASRA, 1986)

Tipo de estabilización	Más de 25 %pasa el tamiz N° 200			25 % o menos pasa el tamiz N° 200		
	IP ≤ 10	10 < IP ≤ 20	IP > 20	IP ≤ 6 PP ≤ 60	IP ≤ 10	IP > 10
Cemento	SI	SI	+	SI	SI	SI
Cal	+	SI	SI	NO	+	SI
Cal - puzolana	SI	+	NO	SI	SI	+

+ Indica que el producto puede tener efectividad marginal
PP = Producto plástico

partículas laminares de las arcillas.

Prácticamente todos los tipos de cemento son útiles para la estabilización de

suelos y normalmente se emplean los de fraguado y resistencia normales. Para contrarrestar los efectos de la materia orgánica son recomendables cementos de alta resistencia y cuando la mezcla con el suelo se produce y extiende a baja temperatura, pueden convenir los de fraguado rápido.

El diseño de mezclas de suelo - cemento se suele basar en criterios de resistencia y durabilidad. La resistencia a compresión inconfiada sobre probetas cilíndricas compactadas con la humedad óptima y la máxima densidad del ensayo normal de compactación y curadas bajo condiciones normalizadas (Norma de Ensayo INV E - 809), es el criterio más utilizado. Su empleo se suele combinar con el del ensayo de humedecimiento y secado (Norma de Ensayo INV E - 807). La referencia 18 constituye un buen documento de consulta para quien requiera profundizar en el diseño de este tipo de mezclas. El Transport Research Laboratory (ref. 2) menciona como satisfactorias resistencias a compresión entre 15 y 30 Kg. / cm² para mezclas a emplear como capas de base, y entre 7.5 y 15 Kg. / cm² para capas de subbase. Estos valores son válidos tanto para capas estabilizadas con cemento como con cal. En el caso de las estabilizaciones con cemento, el TRL recomienda que las probetas compactadas se curen 7 días en ambiente húmedo y 7 días sumergidas en agua.

El ensayo CBR no es muy recomendable para valorar las estabilizaciones con cemento, porque es usual que cualquier suelo - cemento alcance un valor de resistencia tan alto en esta prueba, que su interpretación resulta poco clara.

4.3.2. Estabilización con cal

Al añadir cal a un suelo cohesivo, los iones de calcio reemplazan a los de sodio en la fracción arcillosa hasta que el suelo se satura de calcio y el pH alcanza un valor superior a 12. La solubilidad de la sílice y la alúmina en el suelo crece dramáticamente con estos valores de pH y su reacción con la cal continúa produciendo silicatos y aluminatos de calcio cementantes. Estos componentes cementicios conforman un esqueleto que aglomera las partículas del suelo. Tanto la reacción de intercambio iónico como la producción de materiales cementantes aumentan la estabilidad y reducen el potencial de cambio volumétrico del suelo.

La producción de materiales cementantes puede continuar por muchos años, dependiendo de la resistencia lograda del material que se estabiliza y de las condiciones ambientales en las que se desarrolle la reacción.

La más común de las cales utilizadas para estabilizar es la cálcica hidratada, Ca(OH)_2 , aunque la dolomítica monohidratada, $\text{Ca(OH)}_2 \cdot \text{MgO}$, la cal viva cálcica, CaO , y la cal viva dolomítica, $\text{CaO} \cdot \text{MgO}$, también se pueden emplear. Si bien la cal viva es excelente para la estabilización, es extremadamente peligrosa por su avidez por el agua con la cual reacciona con gran desprendimiento de calor. Por lo tanto, si se acoge su empleo, deben tomarse medidas de seguridad extremas para proteger los operarios y las personas vecinas a la vía.

Las resistencias que se alcanzan al estabilizar suelos con cal no son tan altas como las obtenidas al emplear contenidos óptimos de cemento. Por ello, su aplicación se ha restringido más al mejoramiento de subrasantes y a la estabilización para construir subbases, que, a la ejecución de bases, aunque esta última aplicación no está impedida. El ensayo CBR es

frecuentemente utilizado como criterio para diseño en los dos primeros casos, exigiéndose un valor de resistencia no inferior a 15 para las subrasantes mejoradas y no menor de 70 para las subbases. De acuerdo con la referencia 17, las determinaciones de la resistencia se deberán hacer para una penetración del pistón de 0.4 o 0.5 pulgadas. Tanto para el mejoramiento de subrasantes como para la estabilización de subbases, se recomienda que el curado de las probetas compactadas sea de 7 días en ambiente húmedo, seguidos de 7 días de inmersión. El ensayo de compresión inconfiada es también aceptado para la dosificación de mezclas para subbase y base. Sus límites son los mismos establecidos para las mezclas con cemento, pero el curado recomendado para las probetas compactadas es de 21 días en ambiente húmedo más 7 días de inmersión en agua.

La resistencia de las mezclas de suelo cal es muy susceptible a la temperatura de ensayo, motivo por el cual se debe tener la precaución de probarlas en el laboratorio a una temperatura representativa de las condiciones del terreno.

Como lo muestra la Tabla 4.5, la cal puede ser efectiva estabilizando un suelo granular si simultáneamente se incorpora un producto puzolánico. Las puzolanas más empleadas son las cenizas volantes recogidas como residuo de la combustión del carbón mineral en plantas termoeléctricas. La adición de la ceniza, en proporción de una parte de ceniza por tres o cuatro de cal, permite obtener estabilizaciones de suelos granulares de similar comportamiento al de las tratadas con cemento. Las mezclas definitivas deben obtenerse como resultado de pruebas de laboratorio sobre muestras curadas como las convencionales, las cuales permiten determinar la relación óptima ceniza / cal y el contenido óptimo de cal, como porcentaje del suelo

seco.

4.3.3. Estabilización con emulsión asfáltica

Consiste en una mezcla íntima de una emulsión asfáltica de rotura lenta y un componente mineral constituido esencialmente por grava o arena con finos de reducida o nula plasticidad, en la cual el ligante se distribuye en forma de película continua, envolviendo parcial o totalmente al agregado mineral, buscando que éste alcance una resistencia apreciable tanto en estado seco como después de inmersión, disminuyendo su capacidad de absorción y aumentando su cohesión, de manera de presentar un buen comportamiento como capa de base de un pavimento.

Dada la presencia de finos en la mezcla, se requiere un prehumedecimiento del material para facilitar la dispersión del asfalto y conseguir que éste envuelva correctamente las partículas minerales. Así mismo, por la elevada superficie específica de las partículas finas y la relativamente baja cantidad de ligante que requiere la mezcla, éste se fija de manera selectiva y mayoritaria sobre los elementos finos, formando un mortero rico en ligante que encadena los elementos gruesos.

La mezcla, una vez compactada y curada, alcanza una elevada resistencia a compresión y a deformación bajo cargas lentas, así como una aceptable resistencia a la tracción y a la flexión debido a la presencia del mortero asfáltico, que proporciona además una gran impermeabilidad.

La emulsión asfáltica comúnmente empleada para la estabilización es catiónica de rotura lenta y controlada, que corresponda a los tipos CRL - 1 o

CRL - 1h definidos en el Artículo 400 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías, admitiéndose solamente ligantes residuales de penetración 60 - 100. Se entiende por rotura controlada la propiedad que se puede conferir a una emulsión de regular su rotura, de forma que sea posible conseguir que la envuelta del componente mineral se realice durante el proceso de mezclado, y que la rotura comience durante el proceso de compactación y sea total una vez terminado éste.

El componente mineral apto para la estabilización es muy variable, incluyendo materiales de buena y regular calidad. Estas características incidirán en las cualidades del producto resultante y sus posibilidades de aplicación. En forma muy general, los materiales estabilizables con emulsión se pueden agrupar en dos: granulares y suelos.

Los materiales denominados granulares pueden ser naturales o producto de

Tabla 4.6. MATERIALES GRANULARES ESTABILIZABLES CON EMULSION ASFALTICA

Tamiz	Porcentaje que pasa				
	EG - 1	EG - 2	EG - 3	EG - 4	EG - 5
1 ½"					100
1"	100			100	-
½"	80 - 100	100		-	50 - 90
3/8"	65 - 85	80 - 100	100	-	-
4	-	-	-	40 - 80	30 - 70
8	25 - 50	40 - 60	80 - 100	-	-
40	13 - 30	20 - 35	30 - 50	-	-
100	10 - 20	13 - 23	20 - 35	-	-
200	8 - 15	10 - 16	13 - 30	5 - 20	0 - 15

trituration, de granulometría similar a la de los empleados en la construcción de subbases granulares, a los cuales se prescriben unas exigencias mínimas. La referencia 12 presenta las 5 franjas que se incluyen en la Tabla

4.6, dejando al diseñador el establecimiento de la plasticidad admisible, a la luz de la cantidad de finos y los resultados de las pruebas preliminares de laboratorio y campo.

Bajo la denominación de suelos quedan incluidos componentes de grano fino que puedan ser disgregados económicamente y que estén exentos de cantidades perjudiciales de materiales orgánicos, plásticos o micáceos. El rango granulométrico de suelos estabilizables es muy amplio, exigiéndose que todo el material pase el tamiz N° 4 y que por el tamiz N° 200 pase entre el 5 y el 25 % de él. En adición a lo anterior, el índice plástico no puede exceder de 7; el suelo debe clasificar como A-1-b o A-2-4; su equivalente de arena deberá ser 90 para los A-1-b y encontrarse entre 20 y 40 para los A-2-4; y el CBR del suelo sin estabilizar deberá ser 15 al 100 % de compactación.

Los ensayos normalizados para el diseño de estas mezclas son muy variados. En Colombia se suele emplear el de inmersión - compresión (Norma de Ensayo INV E -738) para la estabilización de los materiales denominados granulares y el de extrusión (Norma de Ensayo INV E - 812) para los suelos. Las mezclas óptimas deben cumplir los siguientes requisitos:

Ensayo de inmersión - compresión

Resistencia seca	20 kg/cm ²
Resistencia húmeda	15 kg/cm ²
Resistencia conservada	50 %

Ensayo de extrusión

Extrusión seca	457 Kg.
Extrusión húmeda	151 kg.
Absorción de agua	7 %
Expansión	5 %

Una detallada descripción de los procedimientos para el diseño de estas mezclas se encuentra en la referencia 12.

4.3.4. Ejecución de las estabilizaciones

Una premisa fundamental en la estabilización de suelos es alcanzar su máxima disgregación, lo que resulta más difícil a medida que el suelo presenta mayor plasticidad. En el trabajo se pueden emplear equipos de muy diferentes características, desde arados de discos hasta pulvimixer o plantas de mezcla.

Tras airear el suelo o humedecerlo, según convenga, se esparce el aditivo de la manera más uniforme posible. Si no se trabaja con equipos específicos que realizan todas estas tareas de manera prácticamente simultánea, la mezcla debe terminarse con motoniveladora. En todos los casos, la compactación deberá comenzar cuando la humedad sea la previamente determinada para esta operación, por lo que puede resultar necesaria una aireación adicional. Las capas de suelos finos estabilizados se deberán compactar preferiblemente con rodillos pata de cabra, mientras que para las de materiales granulares resultan más adecuados los de neumáticos.

Las mezclas de suelo cemento deben compactarse a la mayor brevedad posible, por cuanto los retardos en esta operación se traducen en importantes pérdidas de resistencia. Usualmente se establece un plazo máximo de 2 horas desde el comienzo de la mezcla hasta el final de la compactación.

El problema no es tan crítico en las estabilizaciones con cal, mientras que la precaución en el caso del empleo de emulsiones es que la compactación se realice antes de que la rotura de la emulsión haya concluido.

Las estabilizaciones con cemento y cal requieren, luego de la compactación, la aplicación de un riego de curado tanto para asegurar que la capa retiene suficiente agua para que el estabilizante continúe su hidratación, como para reducir la contracción de la capa compactada e impedir la carbonatación de su parte superior. Esta precaución es más importante entre más seco y caliente sea el clima de la región donde se trabaja. Un producto asfáltico de alta viscosidad es útil para este propósito. Es conveniente, además, que no haya ningún tipo de tránsito sobre la capa en curación durante los primeros 7 días. Superado este plazo, y mientras se coloca la capa superior, se puede admitir tránsito si previamente se riega arena sobre la superficie para que absorba el exceso de asfalto.

En el caso de las estabilizaciones con emulsión, también se requiere un sello de protección si la capa debe soportar tránsito antes de extender la superior. En tal eventualidad, se aplicará una emulsión de rotura rápida (0.5 kg. / m² de ligante residual) seguida de una capa de arena fina y limpia a razón de 4 a 5 litros por metro cuadrado.

Las capas ligadas con cemento y cal presentan un problema adicional cual es su tendencia al agrietamiento por contracción, que se traduce en el reflejo de grietas en la superficie de rodamiento. El buen curado es uno de los medios de controlar parcialmente el problema. Entre más prolongado sea el periodo de curado, la contracción de la capa al secarse será más reducida. El método de compactación también parece incidir. Se ha encontrado que la compactación con rodillo neumático es más conveniente que la de rodillos lisos vibratorios en la prevención del agrietamiento. De todos modos, la aparición de grietas de contracción en la superficie es inevitable. Según el Transport Research Laboratory, el método más efectivo para retrasar su reflejo es cubrir la capa cementada con un espesor sustancial de material granular, siendo este el motivo por el cual algunos de los diseños que incluye dicha entidad en la referencia 2 presentan estructuras bajo tal filosofía de diseño. En el presente manual no se hará una consideración similar por cuanto, dado el bajo tránsito de las vías, el mantenimiento rutinario y periódico de las áreas agrietadas resulta menos oneroso que la construcción inicial de una capa granular adicional.

4.3.5. Aplicaciones

Dentro del ámbito de este manual, las estabilizaciones se contemplan como capas de base, aunque en el caso de las que emplean conglomerantes hidráulicos se da también la posibilidad de construir capas de subbase y la cal es susceptible de emplearse también en el mejoramiento de la subrasante en la medida en que se pueda utilizar el mismo suelo de la explanación.

En todos los casos, es indispensable la cobertura de la capa estabilizada

para asegurar su buen comportamiento.

4.4. Riegos

Se consideran como tales, aquellos trabajos que implican la extensión de ligante asfáltico en una o varias aplicaciones, seguidas o no de la extensión de agregados pétreos. Mientras los riegos con gravilla se pueden emplear como capas de rodadura, los que carecen de ella se utilizan en tareas auxiliares o en trabajos de conservación. Todos tienen en común la posibilidad de emplear emulsiones asfálticas en su elaboración, las cuales deben cumplir los requisitos de calidad establecidos en el Artículo 400 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías.

Los riegos sin gravilla incluyen los denominados riegos en negro, antipolvo, de imprimación, de liga, de sello y de curado. De ellos, este manual contempla la aplicación de tres: imprimación, liga y curado.

Los riegos con gravilla abarcan variantes tales como los tratamientos superficiales simples, dobles y triples, los tratamientos simples de doble engravillado, los tratamientos tipo “sándwich” y los obsoleto macadam de penetración. Los diseños incluidos en este manual sólo consideran el empleo de tratamientos superficiales dobles.

4.4.1. Riegos de Imprimación

Se aplican sobre capas granulares cuando sobre ellas se van a extender capas estabilizadas con emulsión o de mezcla asfáltica, con el fin de buscar que ambas trabajen solidariamente. El ligante por emplear será del tipo CRL-

0, siendo también posible el empleo de una emulsión CRL - 1, diluida en agua hasta alcanzar una concentración de 40 %. A falta de los anteriores, se puede permitir el empleo de un asfalto líquido del tipo MC-70.

La cantidad de emulsión o asfalto por aplicar es aquella que pueda ser absorbida por la capa granular durante un lapso de 24 horas y deberá fijarse como resultado de pruebas realizadas en el terreno. A manera de orientación, la dosificación se encuentra en el entorno de 600 a 900 gramos de asfalto residual por metro cuadrado.

4.4.2. Riegos de liga

Se aplican sobre capas tratadas con estabilizantes antes de extender sobre ellas una mezcla asfáltica. Su propósito es buscar el trabajo solidario de las dos capas. El ligante, que deberá ser una emulsión CRR-1 o CRR-2, se aplica en una cantidad que varía entre 400 y 500 gramos por metro cuadrado.

4.4.3. Riegos de curado

Su función, descrita con anterioridad, es impedir la pérdida prematura de humedad de las capas estabilizadas con cemento o cal, para que se puedan desarrollar correctamente los procesos de fraguado. En la práctica el riego sirve, además, como adherente e incluso como protección (extendiendo sobre él una capa de arena) para soportar el tránsito de obra mientras se coloca la capa superior.

El ligante por aplicar será una emulsión de rotura rápida (CRR - 1 o CRR - 2), siendo conveniente que su residuo sea ligeramente fluidificado cuando se pretenda que el riego sirva también como adherente o como protección. Su dosificación varía en el intervalo de 600 a 800 gramos por metro cuadrado.

4.4.4. Tratamientos superficiales dobles

Consisten en dos aplicaciones de ligante, seguidas sucesivamente por la extensión y compactación de sendas capas de gravilla uniforme, donde el tamaño de las partículas de la segunda capa es la mitad o menos que el de las de la primera. Granulometrías típicas se presentan en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. GRANULOMETRIAS DE AGREGADOS PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Tamiz	Porcentaje que pasa			
	TSD - 1	TSD - 2	TSD - 3	TSD - 4
1"	100	-	-	-
3/4"	90 - 100	100	-	-
1/2"	10 - 45	90 - 100	100	-
3/8"	0 - 15	20 - 55	90 - 100	100
1/4"	-	0 - 15	10 - 40	90 - 100
4	0 - 5	-	0 - 15	20 - 55
8	-	0 - 5	0 - 5	0 - 15
16	-	-	-	0 - 5

El buen comportamiento del tratamiento depende, además, de la buena calidad de los agregados pétreos. Las especificaciones del Instituto Nacional de Vías exigen un mínimo de 75 % de caras fracturadas mecánicamente, un desgaste Los Ángeles no mayor de 40 %, pérdidas en el ensayo de solidez

en sulfato de sodio que no excedan de 12 %, índices de aplanamiento y alargamiento menores de 35 %, adherencia en bandeja cuando menos igual a 80 % y un coeficiente de pulimento acelerado no menor de 0.45.

El ligante por emplear debe ser una emulsión de rotura rápida, tipo CRR - 2. Su dosificación definitiva y la de la gravilla se establecen como resultado de las pruebas iniciales de campo, pero, en principio, están dentro de los márgenes de la Tabla 4.8.

Tabla 4.8. DOSIFICACIONES DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Tipo	Aplicación	Agregados pétreos		Ligante residual (l / m ²)
		Gradación	Dosificación (l / m ²)	
1	Primera	TSD - 1	12 - 14	1.3 - 1.8
	Segunda	TSD - 3	6 - 8	0.8 - 1.2
2	Primera	TSD - 2	8 - 10	0.9 - 1.3
	Segunda	TSD - 4	5 - 7	0.7 - 1.0

4.4.5. Ejecución de los riegos

Los riegos sin gravilla se pueden aplicar con lanza regadora a presión, aunque los mejores rendimientos y resultados se obtienen empleando un carro tanque irrigador, excepto en el caso de los riegos de liga, dada su precaria dosificación. Es inaceptable la ejecución de riegos por gravedad con regaderas manuales, recipientes perforados, cepillos o cualquier otro dispositivo que no asegure la extensión homogénea del riego sobre la superficie por tratar.

En los tratamientos superficiales sólo es permisible la aplicación del ligante con carrotanque, excepto en zonas inaccesibles a éste. La gravilla se debe distribuir con un equipo que garantice la máxima uniformidad; el equipo puede ser autopropulsado o de compuerta acoplada a la volqueta.

En lo referente a la compactación, se debe realizar con compactadores neumáticos de alta presión. Al aplicar la primera capa conviene dar alguna pasada con el equipo, mientras que, tras la segunda aplicación de gravilla, la compactación deberá ser más enérgica. En todos los casos, las fases de ejecución se deben efectuar dejando transcurrir el menor tiempo posible entre ellas.

4.5. Lechadas asfálticas

4.5.1. Definición

Son mezclas de emulsión asfáltica, agregado fino bien gradado, llenante mineral, generalmente cemento Pórtland, agua y eventualmente aditivos, cuya consistencia a temperatura ambiente debe permitir su puesta en obra mediante una rastra con una maestra de caucho.

El éxito de la lechada depende de su formulación, que debe ser muy precisa, sobre todo en lo que se refiere a la elección de la emulsión asfáltica. Así mismo, su puesta en obra exige operadores con gran experiencia.

4.5.2. Materiales

Los agregados deben ser arenas, preferiblemente con una importante fracción de elementos provenientes de trituración. Sus partículas deben ser

Tabla 4.9. GRANULOMETRIAS RECOMENDADAS PARA LECHADAS ASFALTICAS

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	LA - 2	LA - 3	LA - 4
3/8"	100	100	-
4	70 - 90	85 - 100	100
8	45 - 70	65 - 90	95 - 100
16	28 - 50	45 - 70	85 - 98
30	19 - 34	30 - 50	55 - 90
50	12 - 25	18 - 30	35 - 55
80	7 - 18	10 - 20	20 - 35
200	5 - 15	5 - 15	15 - 25

duras y muy limpias. Su granulometría debe ajustarse a lo indicado en la Tabla 4.9. Su desgaste no puede ser mayor de 35 %, las pérdidas en la prueba de solidez en sulfato de sodio no pueden exceder de 12 %, el equivalente de arena debe ser mayor o igual a 50 % y la adhesividad, medida por el método de Riedel - Weber, no puede ser inferior a 4.

El material bituminoso deberá ser una emulsión catiónica de rotura lenta, preferiblemente controlada, elegida en función de las propiedades del agregado, de la climatología y de las características del equipo de aplicación disponible.

El agua deberá tener una calidad tal, que no afecte el proceso normal de elaboración, colocación, rotura y curado de la lechada. Su pH deberá estar entre 5.5 y 8.0 y su contenido de sulfatos, expresado como $\text{SO}_4=$, no podrá ser mayor de un gramo por litro.

4.5.3. Diseño

La formulación de la lechada se debe establecer en el laboratorio, siendo necesaria la ejecución de ensayos de resistencia, abrasión y exudación, cuyo detalle se puede consultar en la referencia 12. El contenido de agua de aporte suele variar entre 8 % y 20 % respecto del peso del agregado, mientras el de emulsión oscila entre 10 % y más de 20 %.

4.5.4. Ejecución

Las lechadas se fabrican en `plantas mezcladoras montadas sobre un camión que también se encarga de su extensión. El equipo consta, básicamente, de depósitos para los diversos componentes, de un mezclador de tipo continuo y de una rastra distribuidora que termina en una maestra de caucho, de altura regulable.

En zonas calurosas, es conveniente el humedecimiento previo de la superficie. La cantidad de agua requerida para esta labor oscila entre 0.1 y 0.2 litros por metro cuadrado.

La lechada no requiere compactación y sólo puede abrirse a cualquier tipo de tránsito una vez haya curado completamente. El tiempo para ello es función del tipo de emulsión, de las características de la lechada y de las condiciones atmosféricas.

El tipo y cantidad de lechada por aplicar dependen de la intensidad del tránsito que vaya a soportar, siendo recomendables los siguientes órdenes de magnitud:

Para tránsito T 1: LA - 3 (9 kg. / m²)

Para tránsito T 2 : LA - 2 (12 kg. / m²)

Para tránsito T 3 : LA - 2 (10 kg. / m²) + LA - 4 (6 kg. / m²) o LA - 2 (12 kg. / m²)

4.6. Mezclas asfálticas

Consisten en una combinación de agregados pétreos con un ligante bituminoso, efectuada en una planta central, de manera que todas las partículas queden cubiertas homogénea y totalmente.

Dependiendo de la granulometría del agregado y del tipo y la cantidad de ligante, se pueden lograr mezclas de características muy diversas en relación con su rigidez, resistencia a la fatiga, impermeabilidad, etc. En general, existen dos grandes tipos de mezclas asfálticas, las elaboradas en caliente empleando cemento asfáltico y las preparadas en frío utilizando emulsión asfáltica. Unas y otras pueden ser densas o abiertas, de acuerdo con la granulometría del agregado utilizado.

La posibilidad del agrietamiento de las mezclas densas al ser colocadas sobre bases estabilizadas con conglomerantes hidráulicos, así como la gran deformabilidad de los pavimentos flexibles convencionales contruidos para servir bajos volúmenes de tránsito, no hacen conveniente la colocación de capas de rodadura constituidas por mezclas muy rígidas, máxime si se tiene en cuenta que de acuerdo con la mecánica de las calzadas, la mayor

susceptibilidad al agrietamiento de las mezclas se presenta cuando su espesor es inferior a 80 milímetros. Esto implica la necesidad práctica de emplear mezclas especialmente flexibles, preferentemente de las clases abierta en frío o cerrada en caliente del tipo arena - asfalto con un elevado contenido de ligante. El catálogo del manual sólo contempla estas dos clases de mezclas.

4.6.1. Mezclas abiertas en frío

Están constituidas por una combinación de agregados, predominantemente gruesos y de granulometría uniforme, con un producto bituminoso, dando como resultado un producto que se puede manejar, extender y compactar a temperatura ambiente y que presenta un considerable volumen de vacíos con aire, generalmente superior a 15 %.

La finalidad de estas mezclas no es brindar al pavimento una alta rigidez y, por lo tanto, la deflexión superficial no es una característica determinante en la durabilidad de la estructura. Su resistencia a la acción del tránsito se debe fundamentalmente al rozamiento interno de su esqueleto mineral junto con la cohesión que brinda la película de ligante asfáltico. La estructura de este esqueleto mineral y el espesor de la capa de ligante hacen a la mezcla permeable y flexible.

En cuanto a su durabilidad frente a los agentes atmosféricos, ella depende de la pérdida de cohesión y adhesividad que sufra el ligante envejecido, a causa de la acción combinada del oxígeno atmosférico y el agua.

4.6.1.1. Materiales

Los agregados pétreos deberán ser predominantemente gruesos, compuestos por partículas duras, limpias, resistentes y de composición mineralógica homogénea. La fracción retenida en el tamiz 4 deberá presentar, como mínimo, 75 % de partículas fracturadas mecánicamente, su desgaste y sus coeficientes de forma no podrán exceder de 35 %, su adherencia con el producto bituminoso no podrá ser menor de 95 % en la prueba de stripping, las pérdidas en el ensayo de solidez en sulfato de sodio no pueden ser mayores de 12 % y su coeficiente de pulimento acelerado deberá ser cuando menos de 0.45. El material procesado y listo para emplear, deberá satisfacer alguno de los requisitos granulométricos incluidos en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. GRANULOMETRIAS PARA MEZCLAS ABIERTAS EN FRIO

Tamiz	Porcentaje que pasa	
	MAF - 1	MAF - 2
1"	-	100
¾"	100	70 - 100
½"	70 - 100	-
3/8"	-	20 - 45
4	10 - 30	0 - 20
8	0 - 10	0 - 10
200	0 - 2	0 - 2

El ligante por emplear deberá ser una emulsión catiónica de rotura media, del tipo denominado CRM en el Artículo 400 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías. La emulsión deberá ser fabricada con fluidificantes, escaso contenido de agua y una viscosidad lo suficientemente elevada para que la película de ligante que

envuelva al agregado sea de suficiente espesor. La fluidificación de la emulsión tiene por objeto facilitar la manejabilidad de la mezcla durante las operaciones posteriores a la envuelta, o bien el posible almacenamiento, una vez rota la emulsión. La dotación de fluidificante deberá ser, por lo tanto, la mínima, con el fin de que el curado de la mezcla, una vez puesta en obra, se realice en el menor tiempo posible.

4.6.1.2. Diseño de la mezcla

Por sus características, las mezclas abiertas presentan un comportamiento muy diferente al de las mezclas densas y, por lo tanto, no tiene objeto emplear los ensayos mecánicos normalmente empleados para el diseño de éstas.

El procedimiento usual consiste en hacer una estimación del contenido óptimo teórico de ligante a través de métodos de superficie específica, elaborando luego mezclas con diferentes porcentajes por encima y por debajo de este valor, a las cuales se les juzga la facilidad de envuelta de los agregados y la adhesividad al someter la mezcla a la acción del agua. Dada la subjetividad de la prueba, el criterio ingenieril resulta definitivo en la selección del óptimo tentativo de emulsión, el cual se ajustará, si es preciso, durante las pruebas iniciales en obra.

En el momento, no hay ningún procedimiento de diseño confiable que se base en criterios de resistencia, a causa de la insuficiente resistencia tensional de la mezcla para ensayos de estabilidad. En la mayoría de las mezclas, el contenido óptimo de emulsión, en relación con el peso seco de los agregados, se encuentra entre 5.0 % y 7.5 %.

4.6.2. Mezclas de arena-asfalto en caliente

Entre la gran variedad de mezclas susceptibles de ser elaboradas en caliente, cuyo comportamiento difiere esencialmente dependiendo de la granulometría de los agregados utilizados, el manual sólo considera el empleo de aquellas cuya granulometría fina y elevada cantidad de asfalto dan lugar a una capa de enorme flexibilidad más que de gran estabilidad, adaptada al comportamiento elástico de las estructuras de las cuales van a formar parte.

4.6.2.1. Materiales

El agregado será fundamentalmente una mezcla de arena natural y manufacturada. El diseñador deberá escoger la proporción en que se han de mezclar de manera de combinar satisfactoriamente las características de estabilidad y flexibilidad de la mezcla, así como garantizar una adecuada adhesión entre llanta y pavimento de la capa construida. Sus partículas deberán ser duras y limpias, el equivalente de arena deberá ser cuando menos de 50 % y las pérdidas en la prueba de solidez en sulfato de sodio no podrán exceder de 12 %. El material que haga las veces de llenante (pasa tamiz 200) deberá presentar un coeficiente de emulsibilidad menor de 0.6 y su densidad aparente, medida por sedimentación en tolueno, deberá encontrarse entre 0.5 y 0.8 gramos por centímetro cúbico. En relación con la gradación, la norma ASTM D3515 recomienda la que muestra la Tabla 4.11.

Tabla 4.11. GRANULOMETRIA PARA ARENA ASFALTO

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8"	100
4	80 - 100
8	65 - 100
16	45 - 80
30	25 - 60
50	7 - 40
100	3 - 20
200	2 - 10

El asfalto por emplear será del tipo cemento asfáltico, de grado de penetración 60 - 70, si la temperatura ambiente es igual o superior a 24° Celsius y 80 - 100 para temperaturas inferiores.

4.6.2.2. Diseño de la mezcla

Aunque existen muchos métodos para el diseño de mezclas densas en caliente, el Marshall es el más utilizado en el país. El detalle de su ejecución y los criterios para la selección del contenido óptimo de asfalto en la mezcla, se pueden consultar en la referencia 14.

4.6.3. Ejecución y colocación de las mezclas

Las mezclas asfálticas se fabrican normalmente en plantas centrales, aunque las abiertas en frío se pueden elaborar también en plantas camineras. Las plantas centrales para la elaboración de las mezclas abiertas en frío son de tipo continuo y de constitución y manejo relativamente sencillos, mientras que las de manufactura de mezclas en caliente, que puede ser de tipo continuo o discontinuo, tienen una complejidad mucho mayor, principalmente por la necesidad de disponer de dispositivos para el adecuado calentamiento

de los agregados minerales y el ligante asfáltico. En los últimos años, la mayoría de las plantas para mezcla en caliente son del tipo tambor - mezclador en la cual el tambor secador cumple además la función de mezclador de tipo continuo.

Las mezclas abiertas en frío son almacenables por periodos prolongados, en razón de que las emulsiones que se emplean en su elaboración tienen un contenido importante de fluidificantes que tardan mucho tiempo en evaporarse cuando la mezcla se encuentra acopiada en volúmenes importantes. Por el contrario, el periodo de trabajabilidad de las mezclas en caliente es muy reducido, pues a medida que disminuye su temperatura se incrementa substancialmente la viscosidad del asfalto, dificultándose tanto la extensión como la densificación de las mezclas.

Transportada la mezcla al sitio de los trabajos, se extiende con una terminadora en un espesor que garantice que luego de compactado alcance el espesor obtenido en el dimensionamiento del pavimento. Cuando la capa se coloca sobre una base tratada, es preciso aplicar un riego previo de liga, mientras que, si se extiende sobre una capa granular, será necesaria la aplicación de una imprimación. Los productos por emplear en estos riegos y sus dosificaciones serán los establecidos con anterioridad.

Es recomendable que la compactación de las mezclas se realice con rodillos lisos ligeros y rodillos neumáticos de alta presión. El uso de compactadores vibratorios no resulta necesario, en razón de los reducidos espesores de las capas asfálticas en los pavimentos construidos para servir bajos volúmenes de tránsito.

4.6.4. Precauciones

Las mezclas asfálticas constituyen la unidad de obra de mayor calidad en un pavimento para bajo tránsito y, por lo tanto, la más costosa. En consecuencia, la adopción de una alternativa que las comprenda debe estar acompañada de un juicioso análisis económico que justifique tal decisión. Por otra parte, la gran comodidad que brindan las mezclas para la circulación, propicia el desarrollo de altas velocidades que pueden dar como resultado una disminución de la seguridad, en razón de que el trazado de las vías de bajo tránsito suele ser sinuoso y falto de técnica. Por lo tanto, su construcción deberá estar necesariamente acompañada de la implantación de medidas para la prevención de la accidentalidad.

5. CATALOGO DE ESTRUCTURAS

5.2 Tipos de estructuras consideradas en el manual

El catalogo del manual considera las siguientes estructuras tipos:

5.1.1. Tratamiento superficial doble como capa de rodadura

CARTA 1.1 T.S.D.	CARTA 1.2 T.S.D.	CARTA 1.3 T.S.D.	CARTA 1.4 T.S.D.
Base granular	Base granular	Base estabilizada con cemento	Base estabilizada con cemento
Sub Base granular	Sub Base estabilizada con cal	Sub Base granular	Sub Base estabilizada con cal
Subrasante mejorada	Subrasante mejorada	Subrasante mejorada	Subrasante mejorada

5.1.2. Mezcla asfáltica densa tipo arena - asfalto como capa de rodadura.

CARTA 2.1	CARTA 2.2	CARTA 2.3
Arena asfalto	Arena asfalto	Arena asfalto
Base granular	Base estabilizada con emulsión asfáltica	Base granular
Sub Base granular	Sub Base granular	Sub Base estabilizada con cal
Subrasante mejorada	Subrasante mejorada	Subrasante mejorada

5.1.3. Lechada asfáltica sobre mezcla abierta en frío como capa de rodadura.

CARTA 3.1 L.A.	CARTA 3.2 L.A.	CARTA 3.3 L.A.
Mezcla abierta en frío	Mezcla abierta en frío	Mezcla abierta en frío
Base granular	Base estabilizada con emulsión asfáltica	Base estabilizada con emulsión asfáltica
Sub Base granular	Sub Base granular	Sub Base estabilizada con cal
Subrasante mejorada	Subrasante mejorada	Subrasante mejorada

5.1.4. Cartas de diseño

Las cartas de diseño incluidas en el método para las diferentes alternativas estructurales se presentarán en los anexos.

5.2. Selección de la estructura

Para determinadas condiciones de resistencia de la subrasante y nivel de tránsito, el catálogo ofrece una serie de estructuras equivalentes que se constituyen en alternativas de diseño. El ingeniero, mediante la juiciosa ponderación del conjunto de circunstancias presentes en el proyecto en estudio, deberá decidir cuál de tales alternativas propone. Algunos de los aspectos a considerar son los siguientes:

- * La posibilidad de obtener materiales granulares a distancias razonables del proyecto

- * La posibilidad de disponer de plantas asfálticas en caliente en el área de influencia de la obra.
- * La posibilidad de estabilización con ligantes hidráulicos o bituminosos de los suelos in-situ a costos razonables.
- * La experiencia de los constructores de la zona en determinado tipo de estructura de pavimento.
- * La pluviometría de la región. En regiones muy lluviosas convendrían estructuras impermeables constituidas por capas de base estabilizadas.
- * La intensidad de vehículos livianos que utilizarían la carretera. En el caso de ser importante el número de automóviles convendría proporcionar una superficie de rodadura lo más suave posible, como por ejemplo una capa de arena - asfalto.
- * El costo global de la estructura. En el capítulo 7 se ilustra el concepto y la metodología para el cálculo de este parámetro.

6. CONSERVACION

6.1. Importancia de la conservación

La conservación del pavimento de una vía es el conjunto de actividades que tienen por objeto mantener sus características de serviciabilidad de tal manera que el transporte de personas y mercancías resulte en todo momento seguro, cómodo y económico. Si la conservación es insuficiente o inadecuada, la acción agresiva de las cargas de los vehículos y del clima va degradando progresivamente la condición superficial y estructural de la calzada dando como resultado menores velocidades de operación, mayores tiempos de viaje y un deterioro prematuro de los vehículos sumado a incrementos en los consumos de combustible, lubricantes y llantas. Estos sobrecostos en la operación vehicular se deben al mayor trabajo mecánico necesario para sortear las irregularidades superficiales de la calzada, en especial las deformaciones y baches.

Lo anterior permite concluir la importancia de acometer las acciones de conservación en forma oportuna y eficaz, para garantizar a los usuarios de la carretera un nivel de servicio adecuado.

6.2. Definiciones.

6.2.1. Período inicial de proyecto.

Es el lapso durante el cual la estructura que se diseña deberá funcionar con un nivel de serviciabilidad superior al mínimo, sin requerir de acciones de conservación diferentes a la de un mantenimiento rutinario.

6.2.2. Período de análisis económico.

Es el lapso en el cual se analizan los costos asociados a la operación de la vía. Generalmente, este periodo es más amplio que el periodo inicial de proyecto e involucra una o varias rehabilitaciones de la estructura que implican dos o más ciclos de vida del pavimento.

6.2.3. Conservación rutinaria (CR)

Es el conjunto de actividades que se realizan en forma permanente y sistemática en la calzada y zonas aledañas, las cuales consisten en :

- * Limpieza de cunetas, descoles, alcantarillas, y demás obras de drenaje superficial y sub-drenaje.
- * Limpieza de bermas
- * Rocería de taludes y zonas laterales.
- * Eventual parcheo localizado.

6.2.4. Intervenciones de rehabilitación

Una vez que el pavimento a cumplido su periodo inicial de proyecto estructural y se supone está llegando al índice de serviciabilidad terminal, es necesario rehabilitar la estructura para que preste un servicio satisfactorio durante un nuevo ciclo de vida. Esta rehabilitación consiste generalmente en

la construcción de una o más capas que, además de ofrecer aporte estructural, llevan la condición superficial a un índice de serviciabilidad óptimo. Las acciones de rehabilitación consideradas en el presente manual (entre muchas opciones posibles), son las siguientes:

R1 : Escarificado + 15 cm de base granular + T.S.D.

R2 : Escarificado + 20 cm de base granular + T.S.D.

R3 : Riego de liga + 5 cm de M.A.F. + L.A.-2

R4 : Riego de liga + 6 cm de M.A.F. + L.A.-2

R5 : Riego de liga + 5 cm de arena - asfalto mezclada en caliente.

R6 : Riego de liga + 6 cm de arena - asfalto mezclada en caliente.

6.2.5. Estrategia de conservación

Es el conjunto de actividades de conservación (rutinaria y de rehabilitación) localizadas en el tiempo a lo largo del periodo de análisis económico, para garantizar permanentemente un nivel de serviciabilidad satisfactorio a los usuarios de la carretera.

6.2.6. Valor residual (VR)

Al término del periodo de análisis económico, el pavimento presenta una

cierta condición superficial y estructural. El valor de la estructura en dicha condición se denomina valor residual y se expresa como un porcentaje del costo inicial de construcción.

6.3. Estrategias de conservación sugeridas para los diferentes tipos de estructuras

En las Tablas 6.1, 6.2 y 6.3, incluidas en los anexos, sugieren algunas estrategias de conservación adecuadas para los diferentes tipos de estructuras contempladas en el catálogo y se indica, además, el valor residual de cada una de ellas para el caso de que se le hubiese implementado dicha estrategia.

7. ANALISIS DE COSTOS

7.1. Introducción

Como se mencionó en el Capítulo 5, uno de los criterios para la selección de la alternativa estructural más adecuada en un caso específico es el costo global de dicha alternativa. El costo de un pavimento no sólo involucra su costo inicial de construcción, sino también los costos anuales de la conservación rutinaria durante el periodo de análisis económico, el costo de las rehabilitaciones y el valor residual al término de dicho periodo de análisis.

7.2. Cálculo del costo global actualizado de una alternativa estructural

La expresión para el cálculo del costo global de una alternativa dada es la siguiente:

$$CG = C1 + C2 + C3 - V.R.$$

Donde:

CG: Costo global actualizado de la alternativa

C1: Costo actualizado al año cero (o año de análisis) de la construcción del pavimento. Incluye el costo directo, los costos indirectos, la utilidad del constructor y el costo de la interventoría.

C2: Sumatoria de los costos anuales de la conservación rutinaria durante el periodo de análisis, actualizados al año cero.

C3 : Sumatoria de los costos de las rehabilitaciones en los años previstos para su ejecución, debidamente actualizados al año cero.

V.R.: Valor residual de la estructura, actualizado al año cero.

La expresión detallada es:

$$c_G = + \left[\frac{c'_2}{(1+a)^1} + \frac{c'_2}{(1+a)^2} + \dots + \frac{c'_2}{(1+a)^n} \right] + \left[\frac{R_i}{(1+a)^i} + \frac{R_j}{(1+a)^j} + \dots + \frac{R_k}{(1+a)^k} \right] - \frac{V.R.}{(1+a)^n}$$

Donde:

CG: Costo global actualizado de la alternativa

C1: Costo inicial de construcción (en pesos del año cero).

C'2: Costo anual de la conservación rutinaria expresado en \$/año.

a: Tasa de actualización del dinero, expresada en tanto por uno.

n: Número de años del periodo del análisis.

Ri: Costo de la rehabilitación prevista para el año i.

Rj: Costo de la rehabilitación prevista para el año j.

Rk: Costo de la rehabilitación prevista para el año k.

V.R.: Valor residual de la estructura al termino del año n, es decir al final del periodo de análisis económico.

8. MANUAL DEL USUARIO

Los requerimientos mínimos para la ejecución del programa son los siguientes:

- ❑ Sistema operativo Windows 9x, Window NT o Windows 2000
- ❑ 51 MB de espacio libre en su disco duro.
- ❑ 16 MB de memoria RAM.
- ❑ Unidad de CD-ROM 4x o superior.
- ❑ Tarjeta de video SVGA 8 bits o superior.
- ❑ Procesador 486 96 Mhz o superior.
- ❑ Access 97. o superior.

Para instalar el programa en su P.C. usted deberá crear una carpeta con un nombre preferiblemente de no más de ocho caracteres, por ejemplo: “Bajos”. Una vez creada la carpeta se copia en esta el archivo “Software bajos” contenido en CD cambiándole, en propiedades, la característica de “Solo lectura” a “Modificado”.

8.1. Utilización del programa

Este software está orientado hacia el ámbito educativo y profesional, con el fin de brindarle a los estudiantes que cursan la asignatura de Pavimentos una herramienta de trabajo que le permita desarrollar el tema de manera dinámica, para mejor entendimiento del mismo, y despertar la inquietud por la elaboración de trabajos similares que sirvan de soporte a compañeros y

profesores.

Cuando usted este ejecutando el programa encontrará una ventana con dos botones, entrar - salir, que le permiten tener acceso a otra que exigirá el suministro de la información básica del proyecto, o salir de la aplicación respectivamente.



8.1.1 Información básica del proyecto

Los datos de la información básica del proyecto, como su nombre lo indica, son aquellos que caracterizan un proyecto específico, y lo diferencian de cualquier otro. Para el ingreso de estos datos se presenta un formulario que exige la descripción del proyecto, el sector donde está localizado, nombre de la carretera o las poblaciones comunicadas por esta, fecha de proceso, abscisa inicial y final de la carretera, el talud que forman las capas inferiores del pavimento, el ancho de la subrasante y de la calzada, la tasa de actualización del dinero (% inflación), el periodo de diseño, el periodo de análisis económico, el número de rehabilitaciones que se le hará a la estructura durante el periodo de análisis (máximo 4), teniendo en cuenta que el método estipula un periodo inicial de 10 años.

frm1 : Formulario

INFORMACION BASICA

Descripcion del proyecto	Habilitación del tramo de vía 006	Sector:	0 18
Carretera	Crihueza - Candelaria (Mag)	Fecha de Proceso:	Nov-15-2000
Abcisa Inicial:	0	Abcisa Final:	5 750
Talud 1:	3	Ancho De Calzada	7.2
Ancho de la Subrasante	8.4	Tasa de Actualizacion del Dinero	36
Periodo Inicial del Proyecto	10	Periodo de Analisis Economico	20
No de Rehabilitaciones:	1	Año 1	10
		Año 2	
		Año 3	
		Año 4	

Nota : No se deberá dejar ninguno de los campos vacíos.

Importante: Al ingresar los valores de ancho de calzada, subrasante, y el talud, el ingeniero diseñador deberá tener presente que debe existir congruencia geométrica en sección transversal de la estructura de pavimento; es decir, el talud recomendado será aquel que configure un ancho de corona mayor que el ancho de calzada + el ancho de las Bermas.

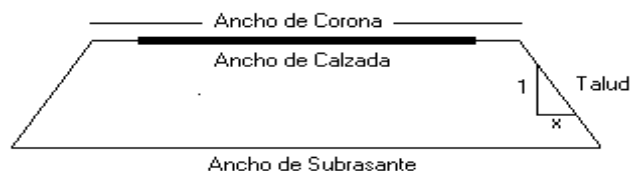


Fig. 8.1

8.1.3 Categoría de tránsito y Clasificación de la subrasante.

Para la elección de la categoría de tránsito se presenta un formulario que permite la entrada del tráfico promedio diario (TPD) o en su defecto el número de habitantes de los núcleos beneficiados por la vía.

Para la clasificación de la subrasante se presenta, en el mismo formulario, 3 campos que permiten la entrada de los valores de CBR o en su defecto el ND (número dinámico mm/golpe), y en eventualidad de no tener ninguno de estos datos, se permite la escogencia de la clase subrasante de acuerdo con la profundidad del nivel freático y el tipo de suelo.

Ingeniería De Pavimentos

Conoce el TPD
☒ Si
☐ No

TPD:

Conoce CBR ☒ Si ☐ No

Conoce el ND ☐ Si ☒ No

Profundidad del Nivel Freático	Clasificación de la Subrasante				
	Arena NP	Arcilla IP=10	Arenosa IP=20	IP=30	IP=40
0.5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.0 o mas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8.1.4. Alternativas de diseño

Una vez definido los parámetros que establecen las condiciones de resistencia de la subrasante y el nivel de tráfico, el programa ofrece una serie de estructuras equivalentes que se constituyen en alternativas de diseño. El ingeniero diseñador mediante un juicioso análisis de las circunstancias

presentes en el proyecto deberá **seleccionar** aquellas alternativas que considere como diseño.

Algunos de los aspectos a considerar en este punto se establecen en el manual de diseño. (ver 5.2. Selección de la estructura pag. 71)

8.1.5. Evaluación de costos de construcción.

Para la evaluación de los costos actualizados de construcción al año cero, los cuales incluye el costo directo, los costos indirectos, la utilidad del constructor y el costo de interventoría, el programa presenta el formulario “ frmcostos ” que consiste en una base de datos que contiene los precios unitarios de los materiales de construcción en sus respectivas unidades de venta.

La base de datos podrá ser modificada mediante la utilización de los botones (Modificar – Actualizar) los cuales permiten, año con año, ajustar los precios de los materiales.

frmcostos : Formulario

EVALUACION DE COSTOS DE CONSTRUCCION

Tratamiento Superficial Doble TSD (m2)	50000
Capa de rodadura de arena-asfáltica AA. (m2)	50000
Lechada Asfáltica L.A. (m2)	75000
Mezcla Abierta en Frío (m2)	300000
Base Granular (m3)	100000
Sub Base Granular (m3)	80000
Subrasante Mejorada (m3)	20000
Base estabilizada con cemento (m3)	400000
Sub Base Estabilizada con Cal (m3)	300000
Base Estabilizada con Emulsion Asfáltica (m3)	500000

8.1.6 Costo anual de conservación rutinaria

Los costos anuales de conservación rutinaria para cada alternativa de diseño incluyen entre otras la limpieza de cunetas, descoles, alcantarillas, bermas, rocería de taludes y zonas laterales, eventuales parcheos localizados y demás obras drenaje superficial y sub-drenajes. Estos costos se podrán ingresar a través del formulario "frmcoru", los cuales serán almacenados, en una base de datos, y al igual que la anterior se puede actualizar año tras año.

Con el fin de evitar errores durante la ejecución del programa es necesario llenar todos los campos incluidos en el formulario.

The screenshot shows a software window titled "frmcoru : Formulario". The main heading inside the window is "COSTOS ANUAL DE CONSERVACION RUTINARIOS EN PESOS POR AÑO". Below this heading, there are two columns of data, each with five rows. Each row consists of a label (Alternativa 1 through Alternativa 10) followed by a text input field containing a numerical value. At the bottom of the window, there are four buttons: "Cancelar", "Modificar", "Actualizar", and "Siguiente".

Alternativa	Costo (Pesos)
Alternativa 1	12000000
Alternativa 2	22000000
Alternativa 3	18000000
Alternativa 4	19000000
Alternativa 5	20000000
Alternativa 6	28000000
Alternativa 7	35000000
Alternativa 8	14000000
Alternativa 9	10000000
Alternativa 10	25000000

8.1.7 Costos de rehabilitación

Los costos de rehabilitación para cada alternativa de diseño serán determinados por el proyectista con base en un presupuesto que incluya todos los insumos y actividades necesarias para llevar la estructura a una condición superficial que presente un índice de servicialidad optimo. Una vez obtenidos estos presupuestos serán ingresados a través del formulario "frmcoret", teniendo en cuenta el número de rehabilitaciones establecidas.

El formulario presentará, para cada alternativa, tantos campos como número de rehabilitaciones se establezca, teniendo en cuenta que para cada alternativa pueden existir hasta dos posibilidades diferentes y por consiguientes sus costos también lo serán. (Ver 7. Análisis de costos. Pag. 77)

frmcoret1 : Formulario

COSTOS DE REHABILITACION

Alternativa 1

<p>ALT 1 : CR+R1 : V.R.:35%</p> <p>año 10 150000000</p>	<p>ALT 2 : CR + R3 : V.R.:40%</p> <p>año 10 135000000</p>
---	---

Alternativa 2

<p>ALT 1 : CR+R1 : V.R.:35%</p> <p>año 10 120000000</p>	<p>ALT 2 : CR + R3 : V.R.:40%</p> <p>año 10 110000000</p>
---	---

8.1.8 Costo global actualizado de alternativas

El formulario “frmfin” presenta los costos de **construcción**, de cada alternativa seleccionada, por **m2 de calzada**. También muestra el costo global actualizado de cada alternativa; es decir, incluyendo el mantenimiento rutinario y las rehabilitaciones proyectadas durante el periodo de análisis económico.

frfin1 : Formulario

COSTO GLOBAL ACTUALIZADO DE ALTERNATIVAS

Alternativa 1		Alternativa 2	
ALT 1 : CR+R1 ; V.R.:35%		ALT 2 : CR + R3 ; V.R.:40%	
Costo M2	79895.834229365	Costo M2	75895.8342298365
Costo Global	3407774108.91	Costo Global	3400491651.96

Alternativa 3		Alternativa 4	
ALT 1 : CR+R1 ; V.R.: 35%		ALT 2 : CR + R3 ; V.R.:40%	
Costo M2	110137.50204361	Costo M2	110187.50204891
Costo Global	4674771916.27	Costo Global	4669665475.87

Cancelar
Siguiente

8.1.9. Impresión de los datos

Para obtener las memorias de diseño que irán incluidas en el documento del proyecto, se deberá imprimir los formularios que contienen los datos de diseño y resultados arrojados por el programa, a medida que este se va ejecutando.

El programa presenta una deficiencia al momento de imprimir el formulario que muestra las alternativas de diseño, ya que al seleccionar aquellas que se desean evaluar no las aísla del resto de las opciones, presentando el inconveniente al usuario de imprimir todas las alternativas y señalar posteriormente el diseño definitivo.

CONCLUSION

La rama de ingeniería civil correspondientes al área de diseño de vías y pavimentos no ha sido ajena al desarrollo de la tecnología, de tal forma que existen herramientas capaces de obtener posiciones exactas y cálculos inmediatos en cualquier tipo de proyecto, muy prácticamente y con pocos elementos.

El proyecto expuesto anteriormente les brinda, a estudiantes, profesores y profesionales del ramo de la ingeniería de pavimentos, la posibilidad de manejar una herramienta que puede resultar de gran aplicabilidad, en el desarrollo de un proyecto, dada la importancia del método como técnica actual vigente para desarrollo de este tipo de obras en nuestro país.

(Método del INV.)

RECOMENDACIONES

Con objeto de presentar un programa más eficiente se recomienda a futuros estudiantes de tesis, la incorporación de una base de datos modificable que registre las cantidades correspondientes a los costos de rehabilitación de alternativas.

Nombre de posible tesis:

**SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN VIAS
CON BAJOS VOLÚMENES DE TRANSITO. (Segunda versión.)**

A N E X O S

A. Estrategias de conservación

Tabla 6.1

Estrategias de conservación aplicables a estructuras con capa de rodadura constituida por T.S.D. y valor residual de dichas estructuras al término del período de análisis económico





CARTA DE DISEÑO	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA ORIGINAL	NIVEL DE TRÁNSITO	
		T1 Y T2	T3
1.1.	T.S.D. 	ALT1 : CR + R1 V.R. : 35 % ALT2 : CR + R3 V.R. : 40 %	ALT1 : CR + R2 V.R. : 35 % ALT2 : CR + R4 V.R. : 40 %
1.2.	T.S.D. 	ALT1 : CR + R1 V.R. : 35 % ALT2 : CR + R3 V.R. : 40 %	ALT1 : CR + R2 V.R. : 35 % ALT2 : CR + R4 V.R. : 40 %
1.3.	T.S.D. 	ALT1 : CR + R3 V.R. : 30 %	ALT1 : CR + R4 V.R. : 35 %
1.4.	T.S.D. 	ALT1 : CR + R3 V.R. : 30 %	ALT1 : CR + R4 V.R. : 35 %

Tabla 6.2

Estrategias de conservación aplicables a estructuras con capa de rodadura constituida por arena-asfalto y valor residual de dichas estructuras al término del período de análisis económico

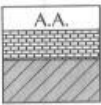
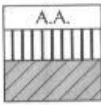
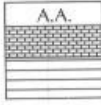



CARTA DE DISEÑO	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA ORIGINAL	NIVEL DE TRANSITO	
		T1 Y T2	T3
2.1.		ALT1 : CR + R3 V.R. : 20 % ALT2 : CR + R5 V.R. : 50 %	ALT1 : CR + R4 V.R. : 20 % ALT2 : CR + R6 V.R. : 50 %
2.2.		ALT1 : CR + R3 V.R. : 40 % ALT2 : CR + R5 V.R. : 50 %	ALT1 : CR + R4 V.R. : 40 % ALT2 : CR + R6 V.R. : 50 %
2.3.		ALT1 : CR + R3 V.R. : 20 % ALT2 : CR + R5 V.R. : 50 %	ALT1 : CR + R4 V.R. : 20 % ALT1 : CR + R6 V.R. : 50 %

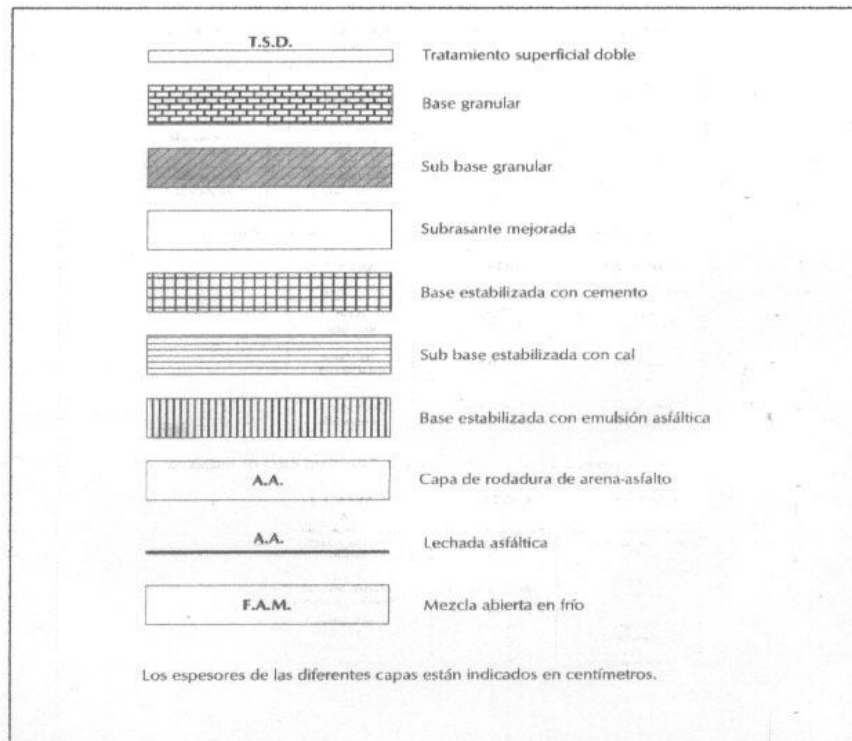
Tabla 6.3

Estrategias de conservación aplicables a estructuras con capa de rodadura constituida por lechada asfáltica sobre mezcla abierta en frío y valor residual de dichas estructuras al término del período de análisis económico.

CARTA DE DISEÑO	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA ORIGINAL	NIVEL DE TRÁNSITO	
		T1 Y T2	T3
3.1.		ALT1 : CR + R3 V.R. : 40 % ALT2 : CR + R5 V.R. : 50 %	ALT1 : CR + R4 V.R. : 40 % ALT2 : CR + R6 V.R. : 50 %
3.2.		ALT1 : CR + R3 V.R. : 40 % ALT2 : CR + R5 V.R. : 50 %	ALT1 : CR + R4 V.R. : 40 % ALT2 : CR + R6 V.R. : 50 %
3.3.		ALT1 : CR + R3 V.R. : 40 % ALT2 : CR + R5 V.R. : 50 %	ALT1 : CR + R4 V.R. : 40 % ALT1 : CR + R6 V.R. : 50 %







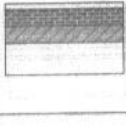





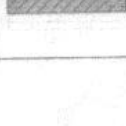
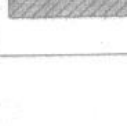

B. Convenciones

Convenciones



C. Cartas de diseño

Carta 1.1
Tratamiento superficial doble y base y sub-base granulares

	T1	T2	T3
S1			
S2			
S3			
S4			
S5			

Carta 1.2
Tratamiento superficial doble, base granular y sub-base estabilizada con cal

	T1	T2	T3
S1			
S2			
S3			
S4			
S5			

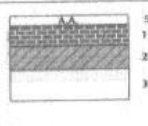
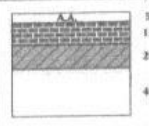
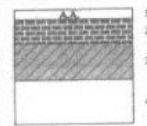
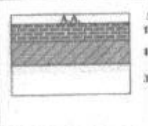
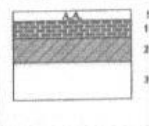
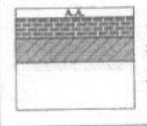
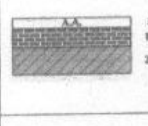
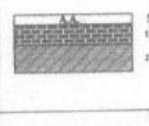
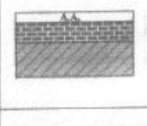
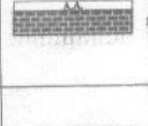
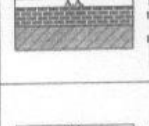
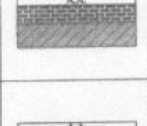
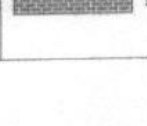
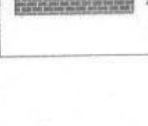
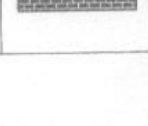
Carta 1.3
Tratamiento superficial doble, base estabilizada con cemento y
sub-base granular

	T1	T2	T3
S1			
S2			
S3			
S4			
S5			

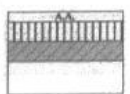
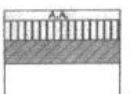
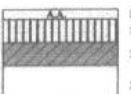





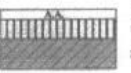



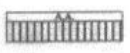
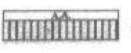

Carta 1.4
Tratamiento superficial doble, base estabilizada con cemento
y sub-base estabilizada con cal

	T1	T2	T3
S1	<p>T.S.D. 20 20 30</p>	<p>T.S.D. 20 20 40</p>	<p>T.S.D. 25 20 45</p>
S2	<p>T.S.D. 15 15 15</p>	<p>T.S.D. 15 20 40</p>	<p>T.S.D. 20 20 40</p>
S3	<p>T.S.D. 15 15 30</p>	<p>T.S.D. 15 15 30</p>	<p>T.S.D. 15 20 30</p>
S4	<p>T.S.D. 15 15 15</p>	<p>T.S.D. 15 20 20</p>	<p>T.S.D. 20 20 20</p>
S5	<p>T.S.D. 15 15 15</p>	<p>T.S.D. 15 15 15</p>	<p>T.S.D. 15 15 20</p>

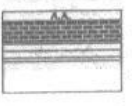
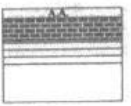
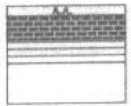
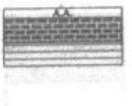
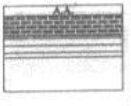
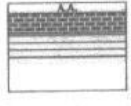
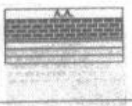
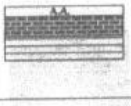
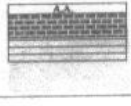
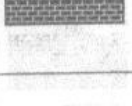

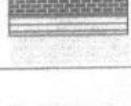


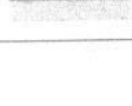
Carta 2.1
Rodadura arena-asfalto y base y sub-base granulares

	T1	T2	T3
S1			
S2			
S3			
S4			
S5			

Carta 2.2
Rodadura de arena - asfalto, base estabilizada con emulsión asfáltica
y sub-base granular

	T1	T2	T3
S1			
S2			
S3			
S4			
S5			

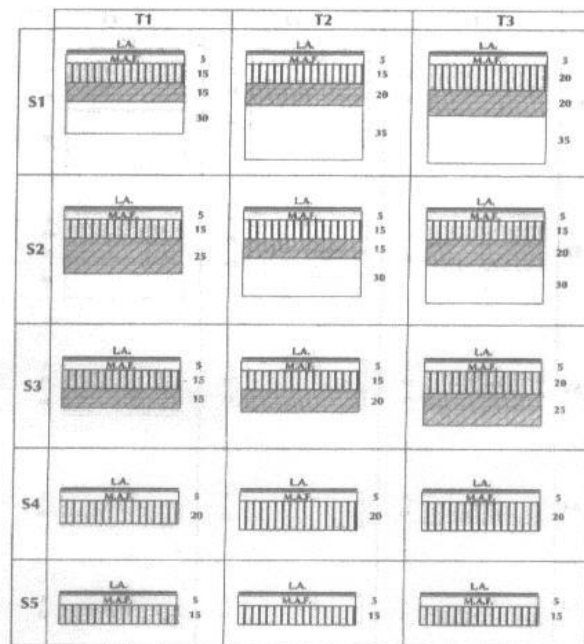
Carta 2.3
Rodadura de arena - asfalto, base granular y sub-base estabilizada con cal

	T1	T2	T3
S1			
S2			
S3			
S4			
S5			

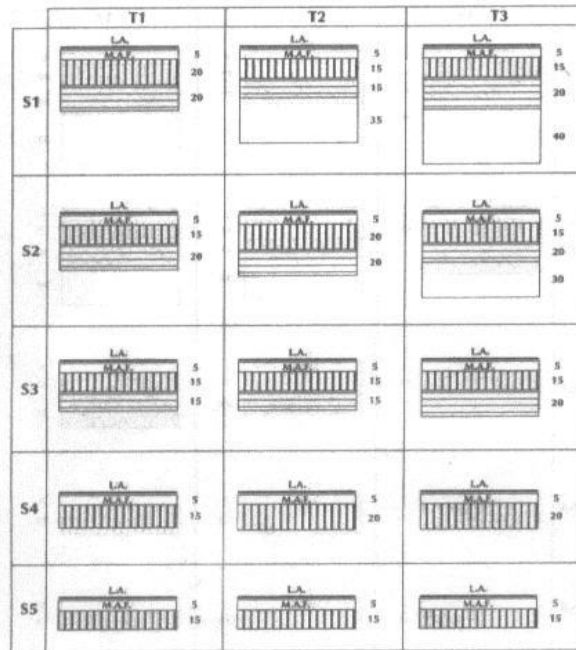
Carta 3.1
Lechada asfáltica sobre mezcla abierta en frío y base
y sub-base granulares

	T1	T2	T3
S1			
S2			
S3			
S4			
S5			

Carta 3.2
 Lechada asfáltica sobre mezcla abierta en frío,
 base estabilizada con emulsión asfáltica y sub-base granular



Carta 3.3
Lechada asfáltica sobre mezcla abierta en frío, base estabilizada con emulsión
asfáltica y sub-base estabilizada con cal



D. Código fuente
(ver archivo código fuente)

BIBLIOGRAFIA

Manual de diseño de pavimento asfálticos en vías con bajos volúmenes de tránsito; Ministerio de transporte - Instituto Nacional de Vías.

Montejo Fonseca Alfonso, Ingeniería de pavimentos de pavimentos para carreteras.

Universidad Católica de Colombia. Segunda edición. Santafé de Bogotá.